

Anne Hyvärinen, Tero Marttila, Paavo Kero, Juha Pekkanen, Sari Ung-Lanki, Jussi Lampi, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, Petri Annila, Jommi Suonketo, Jussi Niemi

Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti

Huhtikuu 2017

Valtioneuvoston selvitys-
ja tutkimustoiminnan
julkaisusarja 44/2017

KUVAILULEHTI

Julkaisija ja julkaisuaika	Valtioneuvoston kanslia, 25.4.2017		
Tekijät	Anne Hyvärinen, Tero Marttila, Paavo Kero, Juha Pekkanen, Sari Ung-Lanki, Jussi Lampi, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, Petri Annila, Jommi Suonketo, Jussi Niemi		
Julkaisun nimi	Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 44/2017		
Asiasanat	rakennukset, terveys, kosteusvauriot, yhteistyö		
Julkaisuaika	Huhtikuu, 2017	Sivuja 127	Kieli Suomi

Tiivistelmä

THL, TTY ja Kuntaliitto tekivät selvityksen rakennusten kosteusvaurioiden ja sisäilmaongelmien ennalta ehkäisystä, ratkaisemisesta ja käyttöä turvaavista toimenpiteistä. Selvitys toteutettiin kokoamalla tietoa mm. kirjallisuuskatsauksin, kyselyin sekä verkostotapaamisten ja työryhmätyöskentelyn avulla. Hankkeessa esitetään suosituksia toimintatavoiksi ja tutkimustarpeiksi. Koulujen sisäilmatilanne on parantunut, mutta noin 10 – 30 % kunnista kokee koulujen sisäilmatilanteen haastavaksi tai jopa vaikeaksi. Kunnat tarvitsevat ohjeistusta erityisesti toimenpiteiden kiireellisyyden määrittelyyn ja kohteiden priorisointiin. Rakennusten kunnossapitoon ja ennakoivaan korjaamiseen tulisi panostaa enemmän. Rakennukset tulee tutkia aina kokonaisuutena. Jatkuvaan tiedonkeruuseen ennakoivaa kiinteistönpiittoa varten tarvitaan toimintamalli. Hankkeessa kehitettiin kosteudenhallinnan perehdytyskoulutusta rakennustyöntekijöille ja päivitettiin terveen talon toteutuksen kriteerejä. Kehitetyt toimintamallit tähtäävät uusien rakennus- ja korjaushankkeiden onnistumiseen ja niistä hyötyä erityisesti kiinteistönomistajat. Edellytys toimintamallien hyödyntämisestä tulisi kirjata tarjouspyyntö- ja sopimusasiakirjoihin. Asuntojen kosteus- ja homevaurioiden siivoukseen ja irtaimiston uusimiseen tarvitaan ohjeistusta ja koulutusta biosidikäsitteilyä tekeville yrityksille. Ilmanpuhdistimia voi käyttää väliaikaisesti esim. remonttia odottaessa, mutta tarve on arvioitava tapauskohtaisesti. Tiivistyskorjauksissa laadunvarmistuksen ja seurantamittausten sekä näiden suunnittelun ja dokumentoinnin tärkeys korostuu.

Liite 1 Korjausten jälkeisen siivouksen vaikutus – kirjallisuuskatsaus

Liite 2 Ilmanpuhdistimien käyttö sisäympäristöissä – kirjallisuuskatsaus

Liite 3 Ilmanpuhdistimien tekninen suoriutuminen

Liite 4 Kirjallisuuskatsaus tiivistämiskorjauksista

Liite 5 Tiivistyskorjauskysely kunnille ja yrityksille

Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston vuoden 2015 selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa (tietokayttoon.fi).

Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare & utgivningsdatum	Statsrådets kansli, 25.4.2017		
Författare	Anne Hyvärinen, Tero Marttila, Paavo Kero, Juha Pekkanen, Sari Ung-Lanki, Jussi Lampi, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, Petri Annala, Jommi Suonketo, Jussi Niemi		
Publikationens namn	Nyckeln till sunda och säkra byggnader (Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen, AVATER) – Sammanställningsrapport		
Publikationsseriens namn och nummer	Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 44/2017		
Nyckelord	byggnader, hälsa, fuktskador, samarbete		
Utgivningsdatum	April 2017	Sidantal 127	Språk finska

Sammandrag

THL, TTY och Finlands Kommunförbund Kommunförbundet gjorde en utredning för att förebygga och lösa problemet med byggnaders fuktskador och inomhusluftproblem och att finna åtgärder för en trygg användning av byggnaderna. Utredningen gjordes genom samla in data med hjälp av bl.a. litteraturoversikter, enkäter samt nätverksmöten och arbete i grupp. Projektet presenterar rekommendationer för tillvägagångssätt och utredningsbehov. Situationen med inomhusluften i skolorna har förbättrats, men cirka 10–30 procent av kommunerna upplever situationen i skolorna som en utmaning eller till och med som ett problem. Kommunerna behöver anvisningar särskilt för fastställande av åtgärdernas angelägenhetsordning och prioritering av objekten. Man borde satsa mer på byggnadernas underhåll och förebyggande reparationer. Byggnaderna ska alltid undersökas som helhet. En verksamhetsmodell behövs för kontinuerlig datainsamling för förebyggande fastighetsskötsel. Inom ramen för projektet utvecklades en inskolning i fuktkontroll för byggarbetare och kriterierna för byggande av ett sunt hus uppdaterades. Verksamhetsmodellerna som utvecklats är inriktade på att lyckas med nya byggprojekt och renoveringar, och de är till nytta särskilt för fastighetsägarna. Ett krav på att verksamhetsmodellerna utnyttjas borde antecknas i offertbegäran och avtalshandlingarna. Företag som utför biocidbehandlingar behöver få anvisningar och utbildning för städning av fukt- och mögelskador i bostäder och förnyande av lösöre. Luftrenare kan användas tillfälligt, t.ex. i väntan på renovering, men behovet måste bedömas separat i varje enskilt fall. Vid tätningsreparationer av konstruktioner betonas vikten av kvalitetskontroll och uppföljningsmätningar samt planering och dokumentering av dessa.

Bilaga 1 Inverkan av städning efter reparationer – litteraturoversikt

Bilaga 2 Användning av luftrenare inomhus – litteraturoversikt

Bilaga 3 Olika luftrenares tekniska prestanda

Bilaga 4 Litteraturoversikt över tätningsreparationer

Bilaga 5 Enkät om tätningsreparationer för kommuner och företag

Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan för 2015 (tietokayttoon.fi/sv).

De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt

DESCRIPTION

Publisher and release date	Prime Minister's Office, 25.4.2017		
Authors	Anne Hyvärinen, Tero Marttila, Paavo Kero, Juha Pekkanen, Sari Ung-Lanki, Jussi Lampi, Hanna Leppänen, Kaisa Jalkanen, Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, Petri Annila, Jommi Suonketo, Jussi Niemi		
Title of publication	The keys to healthy and safe construction (AVATER) – Summary report		
Name of series and number of publication	Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 44/2017		
Keywords	buildings, health, moisture damage, cooperation		
Release date	April 2017	Pages 127	Language Finnish

Abstract

THL, TTY and the Association of Finnish Local and Regional Authorities performed a study of the prevention of moisture damage and indoor air problems, their resolution and measures ensuring the use of buildings. The study involved gathering data by means of literature reviews, questionnaires and online meetings and work groups. Recommendations were made on the practices to be adopted and further research needs. There has been a general improvement in the indoor air of schools, but around 10% to 30% of municipalities view the issue as challenging or even difficult. The municipalities need guidance, particularly in matters such as defining the urgency of measures and prioritising sites. More investment should be made in building maintenance and preventive repairs. Buildings should always be investigated as a whole. An operating model is required for the continuous collection of data for preventive property maintenance. Moisture control induction training for construction workers and the implementation criteria for ensuring a healthy building were updated as part of the project. The purpose of the operating models developed is to help construction and renovation projects to succeed; property owners in particular will benefit from them. The requirement to use the operating models should be included in tenders and contracts. Instructions on cleaning up moisture and mould damage in homes and replacing fixtures and furniture, are needed and training for companies that use biocides. Air purifiers can be used temporarily while awaiting renovations, for example, but the need for them must be assessed on a case-by-case basis. Quality control and follow-up measurements, and the related planning and documentation, are vital in the case of sealing renovations.

Appendix 1 The effect of post-renovation cleaning – a literature review

Appendix 2 The use of air purifiers in indoor environments – a literature review

Appendix 3 The technical performance of air purifiers

Appendix 4 Literature review of sealing renovations

Appendix 5 Sealing renovation questionnaire for municipalities and companies

This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research for 2015 (tietokayttoon.fi/en).

The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	7
1.1 Hankkeen tausta	7
1.2 Hankkeen tavoitteet	8
1.3 Hankkeen toteutus ja kiitokset	9
2. OSA A. KOSTEUSVAURIODEN TERVEYSHAITAT SEKÄ TOIMINTATAVAT SISÄILMAONGELMIEN HOITAMISESSA JA ENNAKOIVASSA KIINTEISTÖNPIDOSSA.....	10
2.1 Katsaus kosteusvaurioiden terveyshaitoista	10
2.2 Koulujen sisäilmaongelmien hallinta – kuntien toimintatavat toimenpiteiden määrittelyssä ja niiden kiireellisyyden arvioinnissa	17
2.3 Laadunhallintaa päätöksentekoon ja korjausten onnistumiseen	26
2.4 Tiedolla johtaminen ennakoivassa kiinteistönpidossa	29
3. OSA B. TAVOITTEENA TERVE TALO	32
3.1 Terveen talon toteutuksen kriteerit	32
3.2 Kosteudenhallintakoulutusta rakennustyöntekijöille	39
3.3 Korjausten jälkeisen siivouksen vaikutus	43
4. OSA C. KÄYTTÖÄ TURVAAVAT TOIMENPITEET KOSTEUSVAURION HALLINNASSA	49
4.1 Ilmanpuhdistimien käyttö	49
4.2 Biosidien ja otsonoinnin vaikutus.....	58
4.3 Tiivistyskorjaukset.....	66
5. YHTEEVETO JOHTOPÄÄTÖKSISTÄ	71
5.1 Kosteusvaurioiden terveyshaitat ja toimintatavat sisäilmaongelmien hoitamisessa ja ennakoivassa kiinteistönpidossa	71
5.2 Tavoitteena terve talo	73
5.3 Käyttöä turvaavat toimenpiteet kosteusvaurioiden hallinnassa	74
5.4 Tutkimus- ja jatkotoimenpidetarpeet	75
LÄHDELUETTELO	78
LIITE 1. KORJAUSTEN JÄLKEISEN SIIVOUKSEN VAIKUTUS - Kirjallisuuskatsaus	81
LIITE 2. ILMANPUHDISTIMIEN KÄYTTÖ SISÄYMPÄRISTÖISSÄ - Kirjallisuuskatsaus.....	89
LIITE 3. ILMANPUHDISTIMIEN TEKNINEN SUORIUTUMINEN	112
LIITE 4. KIRJALLISUUSKATSAUS TIIVISTÄMISKORJAUKSISTA.....	114



LIITE 5. TIIVISTYSKORJAUSKYSELY KUNNILLE JA YRITYKSILLE.....	120
---	------------

1. JOHDANTO

1.1 Hankkeen tausta

Eduskunnan tarkastusvaliokunta totesi (TrVM 1/2013 vp) kosteus- ja homeongelmien olevan merkittävä kansanterveydellinen ja -taloudellinen ongelma, jonka ratkaiseminen edellyttää yhteistyötä tutkimuslaitosten, viranomaisten ja muiden toimijoiden välillä. Tarkastusvaliokunta linjasi, että oireita ja sairauksia aiheuttavat tekijät tulisi pystyä löytämään paremmin ja korjaamaan nopeammin. Mietinnössään (7/2014 vp) tarkastusvaliokunta näki edelleen merkittäviä lisätutkimustarpeita sen selvittämiseksi, mikä tai mitkä tekijät aiheuttavat kosteus- ja homevaurioituneissa rakennuksissa oireita ja sairastumisen tai mikä on sairauksien syntymekanismi. Valiokunta kiirehti myös mm. vaurioiden löytämisen toimintatapojen ja menetelmien kehittämistoimia.

Sisäilmaongelmien arvioidaan aiheuttavan erittäin isoja kustannuksia. Tarkastusvaliokunta (mietintö 1/2013) arvioi korjausvelaksi jopa 30-50 miljardia euroa. Ongelmiin tarvitaan ratkaisuja – niitä vaativat poliittisten tahojen ja viranomaisten lisäksi sekä media että väestö. Kestävät ratkaisut edellyttävät kuitenkin vahvaa tietopohjaa. Rakennusten terveellisyyteen liittyvät kysymykset perustuvat tällä hetkellä valitettavan usein liikaa mielipiteisiin ja liian vähän tutkittuun tietoon. Tämä johtaa jopa voimakkaisiin ristiriitoihin eri toimijoiden kesken.

Erityisesti kosteusvaurioihin liittyvät sisäilmaongelmat ovat usein monimutkaisia, joten niiden ratkaiseminen edellyttää juuri hyvään tietopohjaan perustuvia ja toimivia toimintamalleja ja menetelmiä. Olemassa oleva tieto varsin sirpaleiselta ja monimuotoiselta kentältä tulee jalostaa toimijoiden käyttöön ja lisäksi tulee tietysti tunnistaa ja täyttää tietoaukot ja ohjeistuksen tarpeet eri osa-alueilla.

Rakennusten terveellisyyden ja turvallisuuden ”pohja” ovat luonnollisesti rakennukset. Valitettavasti virheitä ja puutteita tapahtuu niin rakennusten suunnittelussa, rakentamisessa, ylläpidossa, käytössä kuin korjaamisessakin. Meidän tulee hyödyntää tietoa em. virheistä, niihin johtaneista syistä sekä hankkia tietoa toimintatavoista ja uusista innovaatioista, esimerkiksi menetelmistä, joilla virheitä ja ongelmia voidaan välttää ja toisaalta korjata jo niiden synnyttyä. Saatu kokemus ja tieto tulee siirtää ohjeistuksen ja koulutuksen kautta kaikille rakennusalalla työskenteleville terveellisten ja turvallisten rakennusten takaamiseksi.

Kosteus- ja homevaurioiden on osoitettu lisäävän hengitystieoireita ja infektioita, pahentavan astmaoireita sekä astman kehittymisen riskiä. Koska kosteus- ja homevaurioiden tiedetään aiheuttavan terveyshaittoja, on niiden ehkäisy ja järkevästi suunnattu korjaaminen aina perusteltua. Tarvitsemme kuitenkin kykyä arvioida, missä rakennuksissa on erityisen suuri riski terveydelle ja missä pienempi. Tätä tarvitaan erityisesti toimenpiteiden, kuten korjaustarpeen kiireellisyyden arvioinnissa ja toisaalta riskiviestinnässä rakennusten käyttäjien turhien pelkojen hälventämiseksi.

Joskus rakennusten sisäilmaongelmien syiden korjaaminen ei ole mahdollista resurssien puuttuessa tai ongelmat eivät vaadi välitöntä korjaamista. Tällöin tulee harkita keinoja torjua ja vähentää rakennuksen käyttäjien altistumista rakennusperäisille terveydellisille riskeille. Altistumista pyritään torjumaan tai vähentämään esimerkiksi ilmanpuhdistimilla tai tekemällä erilaisia pintojen ja rakenteiden kemiallisia käsittelyjä, mutta näiden toimenpiteiden tehosta tarvitaan lisää tietoa. Olennainen osa terveyshaittojen torjuntaa on myös korjausten jälkeinen siivous, jonka merkityksestä tarvitaan lisää tietoa ja valistusta.

Tärkeä osa monimutkaisten sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyä ja ratkaisua on eri toimijoiden ja ammattilaisten välinen yhteistyö. Jotta rakennukset ovat terveellisiä ja turvallisia, tulee rakennuksen kaikkien vaiheiden edetä ammattitaidolla. Näitä vaiheita ovat mm. rakennuksen suunnittelu, rakentaminen, erityisesti rakentamisen aikainen eri tekijöiden ym. yhteensovittaminen, rakentamisen aikainen valvonta, käyttö ja ylläpito sekä mahdollisten ongelmien havaitseminen ja korjaaminen. Kaikkiin edellä mainittuihin vaiheisiin liittyy taas runsaasti lisää osa-alueita ja vaihtoehtoja, mikä itsessään tekee rakennuksen eri vaiheisiin liittyvistä prosesseista hankalia ja monimutkaisia. Asiaa vaikeuttaa sekä rakennusten että niiden käyttäjien ja niissä toimivien viranomaisten ja muiden toimijoiden monimuotoisuus. Asian menestyksellä hoitaminen edellyttää prosessin sisältäen kaikki edellä mainitut osa-alueet. Lisäksi tarvitaan toimintatapojen selkeyttämistä koko rakennuksen elinkaaren ajalta, määrätietoista johtamista sekä laatukriteerejä onnistumisen takaamiseksi.

AVATER-hanke on toteutettu osana valtioneuvoston yhteistä tutkimus-, ennakointi-, arviointi- ja selvitystoimintaa (VN TEAS-toiminta). Kyseisten hankkeiden tavoitteena on muun muassa tuottaa valtioneuvoston päätöksentekoa tukevaa tutkimustietoa. Hanke on käynnistetty avoimen haun kautta. Tutkimushankkeessa merkityksellisiä tekijöitä ovat olleet tutkimuksen avoimuus ja tutkimuksen hyödynnettävyys mahdollisimman laajasti.

1.2 Hankkeen tavoitteet

Tämän hankkeen tavoitteena oli tuottaa ja koota tietoa olemassa oleviin tietoaukkoihin monimuotoisella alueella koskien mm. rakennushankkeiden toimintamalleja, rakennusten terveyshaittoja aiheuttavia tekijöitä, terveyshaittojen käyttöä turvaavia toimenpiteitä, kiinteistökannan hallintaa ja rakennustyöntekijöiden koulutustarpeita.

Hankkeen yksityiskohtaisina tavoitteina oli tuottaa tietoa ja/tai toimintamalleja:

- keinoista, joilla rakentamisen ja ylläpidon prosesseihin luodaan toimintamalleja sisäilmaongelmien korjaamiseksi ja välttämiseksi.
- rakennusten terveellisyyteen vaikuttavien erityispiirteiden huomioon ottamisesta rakennushankkeen läpiviemisessä sekä rakennustyöntekijöiden perehdyttämisessä ja kouluttamisessa.
- hankkeessa kehitettävien toimintamallien, ohjeiden ja koulutuspaketin potentiaalista kaupallisiksi tuotteiksi ja palveluiksi.
- mikä kosteusvauriorakennuksissa aiheuttaa oireita ja sairauksia ja mikä merkitys on eri epäpuhtauksien yhteisvaikutuksilla ja altistumisen määrällä.
- mitä kipukohtia kunnissa on koulujen sisäilmaongelmien hoitamisessa, erityisesti toimenpiteiden ja niiden kiireellisyyden määrittelyssä.
- käyttöä turvaavien toimenpiteiden, ilmanpuhdistimet, siivous ja irtaimiston puhdistaminen, biosidien käyttö ja ns. tiivistämiskorjausten, toimivuudesta.
- tulevista jatkotyöskentely- ja tutkimustarpeista.

1.3 Hankkeen toteutus ja kiitokset

Hanke toteutettiin Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL), Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) ja Suomen Kuntaliiton yhteistyönä. Hankkeen koordinaatiosta vastasi THL:n Asuin- ympäristö ja terveys -yksikön päällikkö Anne Hyvärinen. THL vastasi lisäksi työpakettien ”Terveyshaittoja aiheuttavat tekijät rakennuksessa ja toimintatavat terveydellisen merkityksen arvioinnissa”, vastuuhenkilö professori Juha Pekkanen ja ”Käyttöä turvaavat toimenpiteet altistumisen vähentämiseksi”, vastuuhenkilö Anne Hyvärinen sisällöistä. Muut THL:n työpakettien toteutukseen osallistuvat henkilöt olivat asiantuntijalääkäri Jussi Lampi, tutkija Sari Ung-Lanki, tutkija Hanna Leppänen, tutkija Kaisa Jalkanen, tutkija Mari Turunen ja erikoistutkija Ulla Haverinen-Shaughnessy sekä tutkija Tero Marttila, TTY.

Tampereen teknillisen yliopiston vastuulla olivat työpaketit ”Uudet toimintamallit, osaaminen ja turvallisuus rakentamisessa”, vastuuhenkilö tutkija Tero Marttila ja ”Uudet johtamis- ja laatu- kriteerit”, vastuuhenkilö tutkija Paavo Kero. Muut TTY:n työpakettien toteutukseen osallistu- vat henkilöt olivat tohtorikoulutettava Petri Annila ja projektipäällikkö Jommi Suonketo. Jäl- kimmäisen työpaketin toteutukseen osallistui myös Kuntaliiton tilapalvelupäällikkö Jussi Nie- mi. Ensin mainitussa työpaketissa valmisteltiin kosteudenhallintakoulutusta rakennustyönteki- jöille työryhmässä, johon kuuluivat TTY:n tutkijoiden lisäksi johtava asiantuntija Helmi Kokotti, Suomen Sisäilmakeskus Oy, toimialapäällikkö Timo Turunen, Ramboll Oy, koulutus- ja laatu- päällikkö Arja Vainio, Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO, asiamies Jani Kemppainen, Rakennusteollisuus RT ry, työpäällikkö Hannu Pekkarinen, Lujatalo Oy, asiantuntija Petri Mannonen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy, lehtori Pekka Väisälä, Tampereen ammattikor- keakoulu (TAMK), lehtori Hannu Kääriäinen, Oulun ammattikorkeakoulu (OAMK), kouluttaja Veikko Myller, TTS Työtehoseura, johtaja Kalle Laine, TTS Työtehoseura, asiantuntija Rauno Peltola, HTT-tarkastus, projektipäällikkö Olli Teriö, TTY. Kiitos työryhmään osallistuneille.

Hankkeen ohjausryhmänä toimi johtaja Jari Keinänen, Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) (puheenjohtaja), yli-insinööri Katja Outinen, Ympäristöministeriö (YM) (sihteeri), tilapalvelu- päällikkö Jussi Niemi, Kuntaliitto, johtava asiantuntija Helmi Kokotti, Suomen Sisäilmakeskus Oy, neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola, STM, finanssineuvos Timo A. Tanninen, STM ja yliarkkitehti Raija Seppänen ja suunnittelija Kjell Brännäs. Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). Hankkeessa järjestettiin verkostoille yhteensä 8 työpajaa ja 2 seminaaria, joista en- simmäiseen osallistui yli 100 toimijaa Kuntaliiton tiloissa kesäkuussa 2016 ja toiseen noin 130 toimijaa Sisäilmapajan yhteydessä Tampereella marraskuussa 2016. Tutkimusryhmä kiittää sekä ohjausryhmää että verkostoja arvokkaasta palautteesta, osallistumisesta ja panoksesta hankkeen tavoitteiden saavuttamiseksi. Kiitos myös johtaja Sanna Lappalaiselle, Työterveys- laitos (TTL), vanhempi asiantuntija Sirpa Rautialalle TTL, toimialajohtaja Juhani Piriselle, FCG Suunnittelu ja tekniikka Oy ja ylläjäkäri Raimo O. Saloselle, THL kommentistaan rapor- tin osuuden sisältöön.

2. OSA A. KOSTEUSVAURIOIDEN TERVEYSHAITAT SEKÄ TOIMINTATAVAT SISÄILMAONGELMIEN HOITAMISESSA JA ENNAKOIVASSA KIINTEISTÖNPIDOSSA

2.1 Katsaus kosteusvaurioiden terveyshaitoista

Juha Pekkanen ja Jussi Lampi, THL

Laadukas sisäilma on tärkeää terveyden, viihtyvyyden ja tuottavuuden kannalta. Tupakansavu ja radon ovat tärkeimmät sisäilman haittatekijät. Tupakansavu koostuu sadoista terveydelle haitallisista yhdisteistä ja se lisää useiden sairauksien ja oireiden riskiä. Radon ja asbesti ovat keuhkosityövän riskitekijöitä. Sisäilmassa voi olla lukuisia muita mikrobiologisia, fysikaalisia ja kemiallisia haittatekijöitä. Sisäilman erilaiset fysikaaliset haittatekijät, kuten liian korkea sisälämpötila, puutteellinen ilmanvaihto ja kuiva sisäilma, voivat myös aiheuttaa epämukavuutta tilojen käyttäjille ja lähinnä ohimeneviä, mutta kiusallisia hengitystie-, yleis- ja ärsytysoireita. Rakennuksen kosteusvauriot ovat tärkeä sisäilman haittatekijä, koska niihin liittyy ohimenevien hengitystieoireiden lisäksi pahimmasta tapauksessa astmaa. Tästä syystä tässä katsauksessa keskitytään erityisesti kosteusvaurioiden terveysvaikutuksiin.

Rakennusten kosteusvaurioiden terveysvaikutuksista on viimeisen vuosikymmenen aikana tehty useita katsauksia ja meta-analyysyjä (mm. WHO 2009; Mendell ym. 2011; Quansah ym. 2012; Fisk ym. 2007; Fisk ym. 2010; Jaakkola 2013; Kanchongkittiphon ym. 2015; Tischer ym. 2011a; Tischer ym. 2011b; Pekkanen ja Lampi 2015; Käypä hoito 2016; IOM 2004; Sauni ym. 2015). Nämä ovat keskittyneet pääasiassa hengitystieoireisiin ja -sairauksiin, joihin näyttö kosteusvaurioiden yhteydestä on vahvinta. WHO:n raportissa (2009) todetaan, että rakennusten kosteusvauriot ovat yhteydessä hengitystieoireisiin, hengitystieinfektioihin, astman syntyyn ja astmaatikon hengitystieoireiden pahenemiseen (Taulukko 1). Samankaltaisiin johtopäätöksiin on päädytty myös muissa katsauksissa, mukaan lukien aiheesta tehty suomalainen Käypä hoito -suositus (Käypä hoito 2016) sekä saksalais-itävaltalainen hoitosuositus (Hurraß ym. 2016).

Kosteusvauriorakennusten korjaamisen vaikutuksista terveyteen on tehty Cochrane-katsaus, jossa havaittiin viitteitä siitä, että rakennusten korjaaminen vähentäisi astmaan liittyviä hengitystieoireita (Sauni ym. 2015). Julkaistuissa meta-analyysseissä kosteusvauriorakennuksissa asuvien hengitystieoireiden- ja infektioiden sekä astman kehittymisen riski on ollut noin 1,1-1,8-kertainen verrattuna kosteusvauriottomissa asunnoissa asuviin keskimäärin (Fisk ym. 2007; Fisk ym. 2010; Tischer ym. 2011a; Tischer ym. 2011b; Quansah ym. 2013). Hyvää näyttöä rakennusten kosteusvaurioiden yhteydestä muihin sairauksiin kuin astmaan ei ole (Taulukko 2).

Vahvin näyttö kosteusvaurioiden haitallisista terveysvaikutuksista perustuu satunnaistettuihin mutta sokkouttamattomiin interventiotutkimuksiin astmaatikkojen hengitystieoireista (Burr ym. 2007; Kerckmar ym. 2006). Burr ym. (2007) tutkimuksessa havaittiin, että näkyvän homeen poistaminen ja homekasvun estävä käsittely asunnossa vähensi hengitystieoireita ja astmalääkityksen käyttöä astmaa sairastavilla aikuisilla. Myös astmaatikkolapsilla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin viitteitä siitä, että kosteus- ja homevaurioiden korjaaminen kodista vähentäisi hengitystieoireita (Kerckmar ym. 2006).

Astman kehittymisen ja hengitystieoireiden osalta vahvin näyttö perustuu kohorttitutkimuksiin, joissa on havaittu annos-vaste -suhde ja/tai rakennuksen kosteusvauriot on todettu ulkopuolisen asiantuntijan toimesta (mm. Karvonen ym. 2009; Karvonen ym. 2015; Norbäck ym. 2013). Näiden lisäksi muun muassa suomalaisessa tapaus-verrokkitutkimuksessa on havaittu, että asiantuntijan toteaman kosteusvaurion vakavuus oli yhteydessä astman kehittymiseen lapsuudessa (Pekkanen ym. 2007).

WHO:n raportissa (2009) todetaan, että näyttö allergiseen herkistymiseen ja muutoksiin keuhkofunktiossa on riittämätöntä. Raportin jälkeen julkaistussa laajassa prospektiivisessä kohortissa (ECRHS) itse raportoitu kosteus- ja homevauriot asunnoissa olivat yhteydessä keuhkofunktion kiihtyneeseen vuotuisen laskuun aikuisiällä, erityisesti naisilla (Norbäck ym. 2011). Kokonaisuudessaan näyttö rakennusten kosteusvaurioiden yhteydestä objektiivisesti mitattaviin päätapahtumiin, kuten allergiseen herkistymiseen ja muutoksiin keuhkofunktiossa, on kuitenkin heikkoa.

Tutkimuksellisesti rakennusten kosteusvauriot ovat haasteellinen aihe (Pekkanen ja Lampi 2015; Käypä hoito 2016). Suurin osa tutkimuksista on poikkileikkaustutkimuksia ja pohjaavat itse raportoituun kosteusvaurioon. Tämä voi asettaa tutkimukset erityisen alttiiksi raportointiharhalle, vaikka on arvioitu, että kosteusvaurioiden ja terveysvaikutusten välinen yhteys ei selity sillä (Fisk ym. 2007; Mendell ym. 2011). Myös terveysvaikutukset ovat pääsääntöisesti olleet itse raportoituja, mistä johtuen esimerkiksi hengitystieoireiden ja -infektioiden erottaminen tutkimuksissa on haasteellista (Käypä hoito 2016).

Syy-seuraussuhdetta rakennusten kosteusvaurioiden ja yhdenkään terveysvaikutuksen välillä ei kuitenkaan ole voitu todeta, koska ei tiedetä, mitkä tekijät ja millä mekanismeilla ne mahdollisesti aiheuttavat terveysvaikutuksia (WHO 2009; Käypä hoito 2016). Vaikka mikrobikasvun on arveltu olevan merkittävä tekijä hengitystieoireiden taustalla, näyttö sisäilman mikrobien terveysvaikutuksista on ristiriitaista (WHO 2009; Mendell ym. 2011; Tischer ym. 2011a; von Mutius ym. 2010; Casas ym. 2016). Kosteusvauriot edistävät mikrobikasvun lisäksi myös rakenteiden pilaantumista, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja pölypukkien esiintymistä (WHO 2009). Näiden tekijöiden merkitystä terveyshaittojen taustalla ei ole pystytty erottelemaan, koska harva epidemiologinen tutkimus on huomionut yhtä aikaa useita sisäilman haittatekijöitä. Lisäksi rakennuksissa esiintyy usein samanaikaisesti myös muita sisäilman haittatekijöitä, kuten allergeeneja, puutteellista ilmanvaihtoa, korkeaa sisälämpötilaa, tupakansavua ja mineraalikuituja (Pekkanen ja Lampi 2015) sekä monia yksilöllisiä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa oireita tai selittää oireiden raportointia.

Mekanismit, joilla rakennusten kosteusvaurioihin yhdistetyt haitalliset terveysvaikutukset aiheutuvat ovat myös epäselviä (WHO 2009). Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet voivat aiheuttaa ärsytystä limakalvoilla ja keuhkojen tulehdusreaktiota, mikä saattaa lisätä oireilua ja tulevaa astmariskiä (Pekkanen ja Lampi 2015). On myös esitetty, että mikrobien väliset interaktiot ovat yksi mahdollinen haitallisia terveysvaikutuksia selittävä tekijä (WHO 2009). Solutason tutkimuksista onkin näyttöä, että mikrobeilla ja mikrobitoksiineilla voi olla synergisiä vaikutuksia esimerkiksi tulehdusvasteisiin (Korkalainen ym. 2016, Huttunen ym. 2004). Solutason tutkimukset eivät ole kuitenkaan suoraan yleistettävissä ihmisten terveyteen tai fysiologisiin vasteisiin (Käypä hoito 2016).

Terveydensuojelu- ja työsuojelulainsäädännön pääperiaate on terveyden edistäminen ja haittojen ehkäisy, joka edellyttää puuttumista elinympäristön riskeihin, vaikka ei täysin vielä tiedettäisikään, mistä terveyshaitat aiheutuvat. Tästä syystä, vaikka syy-seuraussuhdetta rakennusten kosteusvaurioiden ja yhdenkään terveysvaikutuksen välillä ei ole voitu todeta, kosteusvaurio on terveydensuojelulain mukainen terveyshaitta, joka tulee korjata. Tämä on

myös tutkimusnäytön perusteella hyödyllistä, koska on kohtalaista näyttöä siitä, että kosteusvaurioiden korjaaminen voi vähentää asukkaiden ja käyttäjien hengitystieoireilua (Sauni ym. 2015).

Pienelle osalle kosteusvaurioista oireileville jää pysyvämpi taipumus saada oireita sisäilmasta ja muista ympäristötekijöistä, vaikka altistuminen loppuu tai poistetaan (Pekkanen ja Lampi 2015). Tässä ympäristöherkkyydeksi kutsutussa tilassa potilas saa erittäin herkästi moninaisia oireita useissa elinjärjestelmissä, ympäristöissä, joissa suurin osa ihmisistä ei saa oireita, eikä näitä oireita selitä tunnetut biolääketieteelliset mekanismit. Tutkimustietoa kosteusvaurioiden yhteydestä ympäristöherkkyyteen ei ole kuitenkaan julkaistu. Tilaa ei pidetä nykykäsityksen mukaan sairautena, eikä sen toteamiseen ole olemassa objektiivisia tutkimuksia tai tehokkaita hoitoja (Pekkanen ja Lampi 2015; Käypä hoito 2016). Ympäristöherkkyydestä voi aiheutua kuitenkin yksilötasolla merkittävää inhimillistä kärsimystä sekä sosiaalisia että taloudellisia ongelmia. Ympäristöherkkyyttä on käsitelty tarkemmin kahdessa kotimaisessa katsauksessa (Pekkanen ja Lampi 2015; Käypä hoito 2016).

2.1.1 Johtopäätökset ja tutkimustarpeet

Johtopäätökset

Rakennusten kosteusvauriot ovat hengitystieoireiden ja astman riskitekijä. Vielä ei kuitenkaan tiedetä, mitkä tekijät ja millä mekanismeilla ne aiheuttavat haitallisia terveysvaikutuksia. Näyttö kosteusvaurioiden yhteydestä muihin varsinaisiin sairauksiin kuin astmaan ei ole. Rakennusten kosteusvauriot tulee korjata ja näiden synty ennalta ehkäistä, koska tämä on hyödyllistä terveydelle.

Tutkimustarpeet

- Selvittää seurantatutkimuksilla, mitkä tekijät selittävät kosteusvaurion ja astman välisen yhteyden sekä kvantitoida näiden tekijöiden ja astman annos-vaste -suhdetta, jotta jatkossa kosteusvaurioille voitaisiin luoda terveysperusteinen toimenpideraja. Erityisen kiinnostavaa on kuvata tarkemmin kosteusvaurioihin liittyvää mikrobikasvua ja muita haitta-aineita.
- Selvittää eri sisäilmatekijöiden (mikrobikasvu, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, erilaiset allergeenit, puutteellinen ilmanvaihto, lämpötila, mineraalikuidut, RH) yhteisvaikutuksia koettuun oireiluun. Tämä vaatisi tutkimusta, jossa kaikkia näitä tekijöitä mitattaisiin samassa tutkimuksessa toistetusti mielellään useamman kuukauden ajan, mielellään useassa rakennuksessa, ja seurattaisiin käyttäjien koettua oireilua. Parhaassa tapauksessa sisäilman laatua tulisi pystyä koeluonteisesti muuttamaan.
- Sisäilmaan yhdistettyihin haittoihin ja oireiluun vaikuttavat sisäilmatekijöiden lisäksi erittäin monet yhteisölliset sekä yksilölliset tekijät, joita on selvitetty puutteellisesti Suomessa. Näitä tekijöitä voi selvittää sekä havainnoivalla tutkimuksella että kokeellisesti. Tärkeää olisi myös selvittää, voidaanko koettuja haittoja vähentää myös Suomessa esimerkiksi lisäämällä käyttäjien mahdollisuutta osallistua sisäilman laadun säätelyyn tai tehokkaalla viestinnällä.
- Selvittää ympäristöherkkyyden yleisyyttä, riskitekijöitä ja hoitomahdollisuuksia Suomessa ja yhtymäkohtia toiminnallisiin häiriöihin.

Taulukko 1. Rakennusten kosteusvaurioiden yhteys hengitystieterveysteen ja allergisiin sairauksiin. Taulukossa kuvataan johtopäätös WHO:n katsauksesta (2009) ja kirjoittajien kommentit perustuen katsauksen jälkeen julkaistuihin uusiin tutkimuksiin, epidemiologisen tiedon rajoituksiin ja mekanistiseen tietoon.

Tauti tai oire	WHO:n johtopäätös	Kirjoittajien kommentit
Astmaa sairastavan hengitystieoireet	Riittävä näyttö yhteydestä	Riittävä näyttö yhteydestä
Astman kehittyminen	Riittävä näyttö yhteydestä	Riittävä näyttö yhteydestä
Hengitystieoireet	Riittävä näyttö yhteydestä	Riittävä näyttö yhteydestä
Hengitystieinfektiot	Riittävä näyttö yhteydestä	Rajoitettu tai viitteellinen näyttö yhteydestä Hengitystieoireiden ja infektioiden erottaminen epidemiologisissa tutkimuksissa on haastavaa (Käypä hoito 2016). Lisäksi, mekanismi jolla kosteusvauriot mahdollisesti voivat aiheuttaa hengitystieinfektioita on epäselvä. Tästä syystä aiheesta tarvitaan lisää tutkimusta.
Allerginen nuha	Rajoitettu tai viitteellinen näyttö yhteydestä	Rajoitettu tai viitteellinen näyttö yhteydestä IgE-välitteinen allergia ei näyttäisi olevan yhteydessä kosteusvaurioihin (WHO 2009) ja nuhan eri alatyypin määrittely epidemiologisissa tutkimuksissa on haastavaa. Tästä syystä aiheesta tarvitaan lisää tutkimusta.
Allerginen alveoliitti	Tapausselosteet viittaavat yhteyteen	Tapausselosteet viittaavat yhteyteen Allerginen alveoliitti vaatii huomattavasti korkeampaa mikrobialtistusta kuin normaalisti tavataan kosteusvauriorakennuksissa ja tästä syystä asuin- tai toimistorakennuksien kosteusvaurioiden yhteydessä epätodennäköistä (Käypä hoito 2016).

Taulukko 2. Rakennusten kosteusvaurioiden yhteys muihin sairauksiin IOM:n (2004) ja WHO:n (2009) mukaan sekä kirjoittajien kommentit perustuen epidemiologiseen, toksikologiseen ja mekanistiseen tietoon.

Tauti tai oire	IOM:n ja WHO:n johtopäätös	Kirjoittajien kommentit
Syöpäsairaudet	Tutkimustieto riittämätöntä tai puutteellista.	Näyttää yhteydestä ei ole. Toksikologisesti arvioituna on epätodennäköistä, että mikrobitoriinit kosteusvauriorakennuksissa aiheuttavat merkittävää syöpävaaraa (Käypä hoito 2016).
Reumasairaudet	Tutkimustieto riittämätöntä tai puutteellista.	Näyttää yhteydestä ei ole. Yhteyttä on käsitelty lähinnä suomalaisissa tapausselostuksissa. Toksikologisia tutkimuksia autoimmuunivasteista ei ole julkaistu. Nivelreuman mahdollisia riskitekijöitä on lukuisia, mutta niiden näyttö yhteydestä nivelreumaan on heikkoa lukuun ottamatta perintötekijöitä ja tupakointia. Mekanismit, joilla rakennusten kosteus- ja homevauriot voisi aiheuttaa reumasairauksien kehitykseen, on täysin epäselvä. (Käypä hoito 2016)
Yleisoireet (väsymys, pahoinvointi ja päänsärky)	Tutkimustieto riittämätöntä tai puutteellista.	Epidemiologisissa tutkimuksissa on havaittu viitteitä yhteydestä. Yleisoireet ovat etiologialtaan moninaisia, niiden raportoinnissa on huomattavia yksilöllisiä eroja ja myös mahdollinen mekanismi on täysin epäselvä (Pekkanen ja Lampi 2015; Käypä hoito 2016) . Aiheesta tarvitaankin lisää laadukasta tutkimusta.

Lähteet ja tausta-aineistot

- Burr ML, Matthews IP, Arthur RA ym. (2007). Effects on patients with asthma of eradicating visible indoor mould: a randomised controlled trial. *Thorax*. 62:767-72
- Casas L, Tischer C, Täubel M (2016). Pediatric Asthma and the Indoor Microbial Environment. *Curr Environ Health Rep*. 3(3):238-49.
- Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ (2007). Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air*. 2007 Aug;17(4):284-96.
- Fisk WJ, Eliseeva EA, Mendell MJ (2010). Association of residential dampness and mold with respiratory tract infections and bronchitis: a meta-analysis. *Environ Health*. 15;9:72.
- Hurraß J, Heinzow B, Aurbach U ym. (2016). Medical diagnostics for indoor mold exposure. *Int J Hyg Environ Health*. 2016 Dec 5. pii: S1438-4639(16)30561-2.
- Huttunen K, Pelkonen J, Nielsen KF ym. (2004). Synergistic interaction in simultaneous exposure to *Streptomyces californicus* and *Stachybotrys chartarum*. *Environ Health Perspect*. 112(6):659-65.
- Institute of Medicine (US) Committee on Damp Indoor Spaces and Health. Damp indoor spaces and health. Washington: National Academy of Sciences 2004.
- Jaakkola MS, Quansah R, Hugg TT ym. (2013). Association of indoor dampness and molds with rhinitis risk: a systematic review and meta-analysis. *J Allergy Clin Immunol*. 132:1099-110.e18
- Kanchongkittiphon W, Mendell MJ, Gaffin JM ym. (2015). Indoor environmental exposures and exacerbation of asthma: an update to the 2000 review by the Institute of Medicine. *Environ Health Perspect*. 123:6-20.
- Karvonen AM, Hyvärinen A, Roponen M ym. (2009) Confirmed moisture damage at home, respiratory symptoms and atopy in early life: a birth-cohort study. *Pediatrics*. 124:e329-38.
- Karvonen AM, Hyvärinen A, Korppi M ym. (2015). Moisture damage and asthma: a birth cohort study. *Pediatrics*. 135:e598-606.
- Kercsmar CM, Dearborn DG, Schluchter M ym. (2006). Reduction in asthma morbidity in children as a result of home remediation aimed at moisture sources. *Environ Health Perspect*. 114:1574-80.
- Korkalainen M, Täubel M, Naarala J ym.(2017). Synergistic proinflammatory interactions of microbial toxins and structural components characteristic to moisture-damaged buildings. *Indoor Air*. 27(1):13-23.
- Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas (online). Suomalaisen Lääkäriseura Duodecimin asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2016 (viitattu 27.03.2017). Saatavilla internetissä: www.kaypahoito.fi
- Mendell MJ, Mirer AG, Cheung K ym. (2011). Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence. *Environ Health Perspect*. 119:748-56.
- Norbäck D, Zock JP, Plana E ym. (2011). Lung function decline in relation to mold and dampness in the home: the longitudinal European Community Respiratory Health Survey ECRHS II. *Thorax*. 66(5):396-401
- Norbäck D, Zock JP, Plana E ym (2013). Mould and dampness in dwelling places, and onset of asthma: the population-based cohort ECRHS. *Occup Environ Med*. 70:325-31.
- Pekkanen J, Hyvärinen A, Haverinen-Shaughnessy U ym. (2007). Moisture damage and childhood asthma: a population-based incident case-control study. *Eur Respir J*. 29:509-15.
- Pekkanen J, Lampi J (2015). Rakennusten kosteus- ja homevauriot ja terveys. *Duodecim* 131:1749-55.
- Quansah R, Jaakkola MS, Hugg TT ym. (2012). Residential dampness and molds and the risk of developing asthma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 7:e47526.

Sauni R, Verbeek JH, Uitti J ym. (2015). Remediating buildings damaged by dampness and mould for preventing or reducing respiratory tract symptoms, infections and asthma. Cochrane Database Syst Rev. (2):CD007897.

Tischer C, Chen CM, Heinrich J (2011a). Association between domestic mould and mould components, and asthma and allergy in children: a systematic review. Eur Respir J. 38:812-24.

Tischer CG, Hohmann C, Thiering E ym. (2011b), Meta-analysis of mould and dampness exposure on asthma and allergy in eight European birth cohorts: an ENRIECO initiative. Allergy. 2011 Dec;66(12):1570-9.

von Mutius E, Vercelli D (2010). Farm living: effects on childhood asthma and allergy. Nat Rev Immunol. 10(12):861-8.

WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Geneva: World Health Organization 2009.

2.2 Koulujen sisäilmaongelmien hallinta – kuntien toimintatavat toimenpiteiden määrittelyssä ja niiden kiireellisyyden arvioinnissa

Sari Ung-Lanki, Mari Turunen ja Anne Hyvärinen, THL

Hankkeessa selvitettiin kyselyllä ja haastatteluilla kuntien toimintatapoja ja kipukohtia koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa, erityisesti terveyshaittaa aiheuttavien olosuhteiden arvioinnissa, niistä seuraavien toimenpiteiden ja niiden kiireellisyyden määrittelyssä. Lisäksi järjestettiin työpaja hyvistä toimintatavoista alalla toimivien yritysten, tutkimuslaitosten ja muuttaman kunnan kanssa sekä kerättiin tietoa toimintatavoista muissa maissa.

2.2.1 Kuntakysely ja haastattelut

Koulujen sisäilmaongelmat ja niihin liittyvä oppilaiden sekä työntekijöiden oireilu ovat yleinen ja vaikeasti ratkaistava ongelma, joka on jatkuvasti esillä julkisuudessa. Kunnat ovat vaikeuksissa yrittäessään selvittää ongelmien syitä ja priorisoida korjauskohteita tilanteessa, jossa vaaditaan pikaisia toimia, mutta tietoa sisäilman laadun yhteyksistä terveyteen on niukasti. Sisäilmaongelmien tunnistaminen, syiden löytäminen ja ongelmien asianmukainen hoitaminen vaativat monipuolista asiantuntemusta ja erityisosaamista. Koulujen sisäilmaongelmien parissa työskentelee useita eri viranomaisia, kuten ympäristöterveys-, kouluterveys- ja työterveyshuolto sekä työsuojelu.

Julkisten rakennusten sisäilmaongelmien kokonaisvaltainen hallinta edellyttää työkaluja ja käytäntöjä rakennusten ylläpitoon, valvontatyöhön ja ongelmien selvittelyyn. Sisäilmaongelmien havaitsemiseen ja hallintaan on olemassa ohjeita ja toimintamalleja (Lahtinen ym. 2006; Lappalainen ym. 2010; Lappalainen ym. 2016; Salonen ym. 2015), mutta kaikilta osin ne eivät ole kuntien käytössä tai tiedossa. Toimintatapoja tulee myös edelleen kehittää. Aiempien selvitysten perusteella etenkin korjausten suunnitelmallisuuden edistämiseen, korjaushankkeiden priorisointiin sekä toimenpiteiden ja korjausten kiireellisyyden arviointiin tarvitaan uusia menetelmiä ja yhtenäisempiä käytäntöjä. Olemassa olevien toimintamallien kehittämisen ohella myös niistä tiedottamista tulisi parantaa sekä käyttöönottoa helpottaa. (Alastalo 2013; Hekkanen 2006; Kero 2011; Pekkola 2011.)

Tässä raportissa esitetään THL:n kunnille vuonna 2015 tekemän tutkimuksen keskeisimmät tulokset erityisesti toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnin osalta. Raportissa esitetyt johtopäätökset ja suositukset terveydellisen merkityksen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnista pohjautuvat kunnissa tehtyyn kyselytutkimukseen ja haastatteluihin. Lisäksi on hyödynnetty verkostotyöpajojen johtopäätöksiä. Kunnille tehdyn kysely- ja haastattelututkimuksen tulokset on raportoitu laajemmin THL:n julkaisussa (Ung-Lanki ym. 2017).

Koko hankkeen tavoitteena (Ung-Lanki ym. 2017) oli tunnistaa kipukohtia koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa. Siinä kerättiin tietoa kuntien nykyisistä toimintatavoista, kehittämistarpeista sekä hyviksi koetuista käytännöistä koulujen sisäilmaongelmien selvittämisessä ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa. Tähän tietoon perustuen tavoitteena on myöhemmin kehittää ohjeistusta koulujen sisäilmaongelmien hallintaan.

Aineisto ja menetelmät

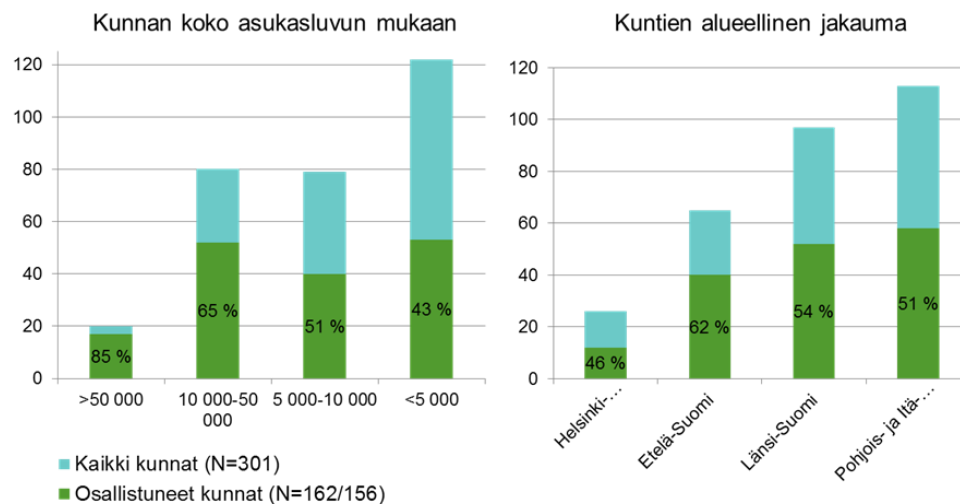
Aineisto on kerätty vuonna 2015 toteuttamalla valtakunnallinen sähköinen kysely 295 kunnassa (ei Ahvenanmaa) ja haastattelemalla kunnan sisäilma-asioita hoitavia tahoja kuudessa erikokoisessa kunnassa.

Kysely oli kuntakohtainen ja se oli suunnattu ensisijaisesti kuntien sisäilmatyöryhmille tai vastaavalle sisäilma-asioita hoitavalle taholle. Kyselyssä käytiin läpi sisäilmaongelmien ratkaisuprosessin eri vaiheita, joten se toimi hyvin myös sisäilmaongelmia hoitavien tahojen itseauditoitina. Kyselyn ja haastattelujen sisältöalueet olivat seuraavat: taustatiedot, toimintaohje sisäilmaongelmien hoitamiseen, keskeiset toimijat sisäilma-asioissa, sisäilmaongelman tunnistaminen, alustavat selvitykset, lisäselvitykset, toimenpiteiden kiireellisyyden arviointi, korjauskohteiden priorisointi kunnassa, yhteistyö ja viestintä, asiantuntemus ja osaaminen sekä kiinteistöjen kunto ja kunnossapito.

Kyselyyn vastattiin noin 52 % Suomen kunnissa (N=156). Asukasluvultaan suurimmissa kunnissa osallistuttiin tutkimukseen aktiivisimmin, mutta alueellisesti kunnat jakautuivat melko tasaisesti (Kuva 1). Valtaosassa kunnista (61 %) kyselyyn vastasi yksin esimerkiksi sisäilmatyöryhmän puheenjohtaja tai kiinteistöpäällikkö, mutta loppuissa kunnissa kyselyyn vastasi sisäilmatyöryhmä tms. yhteistyössä.

Kussakin haastattelun piirissä olevassa kunnassa haastateltiin vähintään kolmea kunnan sisäilma-asioita aktiivisesti hoitavaa henkilöä (esim. kunnan sisäilmatyöryhmän puheenjohtaja, kunnan kiinteistöjen hallinnasta vastaava henkilö, terveystarkastaja, työsuojelun edustaja). Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina ja niiden runko oli sama kuin em. strukturoidussa kyselyssä. Haastatteluilla pyrittiin syventämään strukturoidulla kyselyllä saatavaa tietoa.

Tutkimukseen osallistuneet kunnat



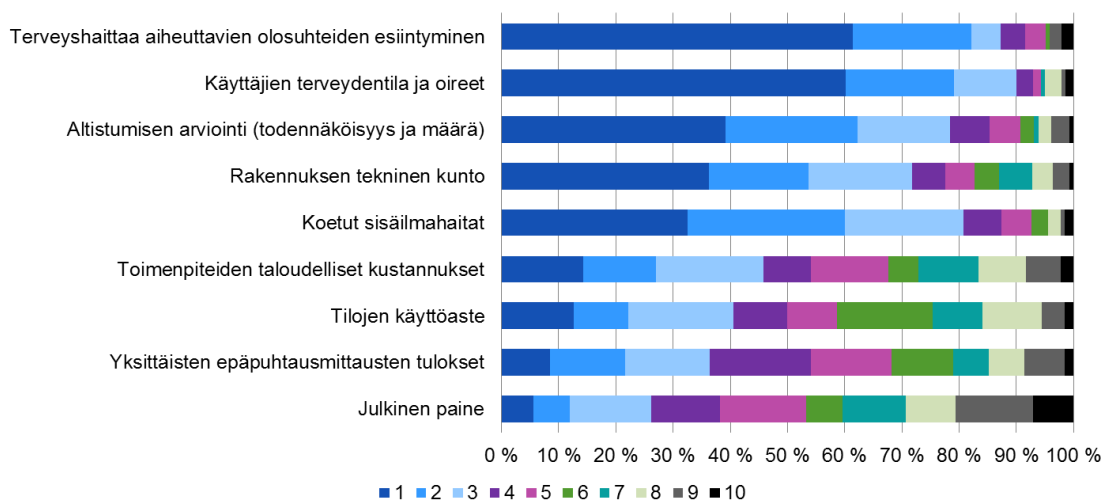
Kuva 1. Tutkimukseen osallistuneet kunnat koon ja sijainnin mukaan.

Toimenpiteiden kiireellisyyden ja altistumisen arviointi

Jatkotoimenpiteiden määrittelyssä ja kiireellisyyden arvioinnissa käytetään yleisimmin käyttäjien terveydentilaan ja altistumisen todennäköisyyteen liittyviä perusteita, kuten 1) terveyshaittaa aiheuttavien olosuhteiden esiintyminen, 2) käyttäjien terveydentila ja oireet ja 3) altis-

tumisen arviointi (todennäköisyys ja määrä). Seuraavaksi yleisimmät perusteet liittyvät rakennuksen tekniseen kuntoon sekä koettuihin sisäilmahaittoihin. Valitettavasti myös esimerkiksi julkinen paine saattaa joissain tapauksissa ohjata toimenpiteiden kiireellisyyden arviointia (Kuva 2).

Jatkotoimenpiteiden määrittelyn ja kiireellisyyden arvioinnin periaatteet



Kuva 2. Jatkotoimenpiteiden määrittelyn ja kiireellisyyden arvioinnin periaatteet koulujen sisäilmaongelmissa (1=yleisin peruste) (mahdollisuus antaa sama arvo useammalle tekijälle) (N≈133).

Epäpuhtauksille altistumisen arvioinnissa yleisimmän huomiotava tekijöitä ovat kosteusvaurioiden esiintyminen, laajuus ja sijainti, rakenteissa esiintyvän mikrobikasvuston laajuus ja voimakkuus sekä muiden kuin mikrobiologisten epäpuhtauksien lähteiden esiintyminen (Kuva 3). Huomattavaa on, että jopa 115 kunnista ilmoittaa käyttävänsä altistumisen arvioinnissa mikrobien sisäilmamittaustuloksia ja 53 toksisuusmittaustuloksia, vaikka ilman mikrobinäytteiden epävarmuus pitäisi olla yleisesti tiedossa ja toksisuusmittausmenetelmä ei ole yleisesti hyväksytty altistumisen arviointiin tai toimenpiteiden kiireellisyyden määrittelyyn. Rakennusten kosteus- ja homevaurioiden tutkiminen perustuu rakennusten tekniseen tutkimiseen. Sisäilman mikrobipitoisuudet vaihtelevat paljon sekä ajallisesti että paikallisesti ja niiden pitoisuuksiin vaikuttavat useat tekijät, kuten ulkoilma, elintarvikkeet ja eläimet. Ilman mikrobinäytteiden ei näin ollen tulisi koskaan olla ensisijainen tutkimusmenetelmä.

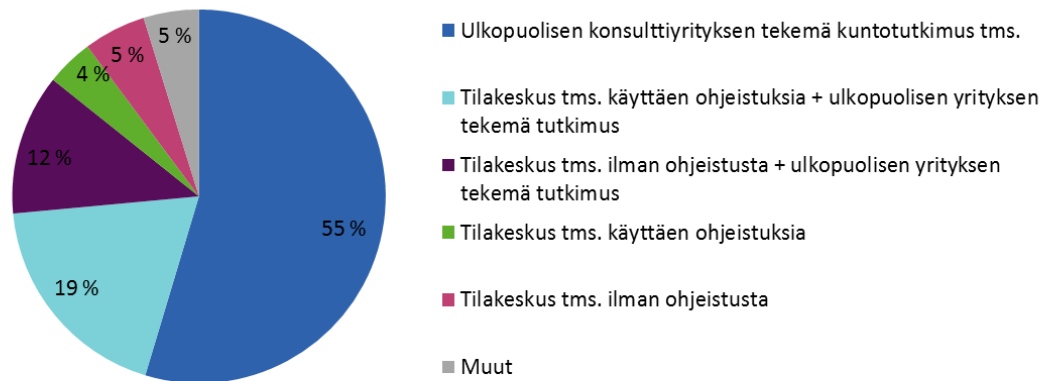
Altistumisen arvioinnin osa-alueet



Kuva 3. Epäpuhtauksille altistumisen arvioinnissa huomiotavia tekijöitä (mahdollisuus valita useita vaihtoehtoja) (kuntien lkm).

Rakennus- ja talotekninen tutkimus tehdään useimmiten ulkopuolisen konsulttiyrityksen toimesta rakennuksen ja sen järjestelmien kuntotutkimuksella tms. Noin 10 % kunnista tutkimukset tehdään pelkästään omin voimin (Kuva 4). Käyttäjien terveydentilaa selvittäessä käytetään tavanomaisimmin (72 % kunnista) sekä työntekijöiltä että oppilailta saatavia tietoja (työ- ja kouluterveydenhuollon toteuttamat/tilaamat terveys- ja olosuhdekyselyt ja/tai taustatiedot poissaoloista ja sairastuvuudesta). Kouluterveydenhuollon taustatietoja tai kyselyjä oppilaille ei kuitenkaan käytetä lainkaan 26 % kunnista. Toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnista vastaavat useimmiten tilakeskus (tai vastaava taho) sekä sisäilmatyöryhmä (koordinoinva tai kohdekohtainen sisäilmatyöryhmä mukana arvioinnissa 73,5 % kunnista, tilakeskus tai vastaava tekee yksin 22,8 % kunnista).

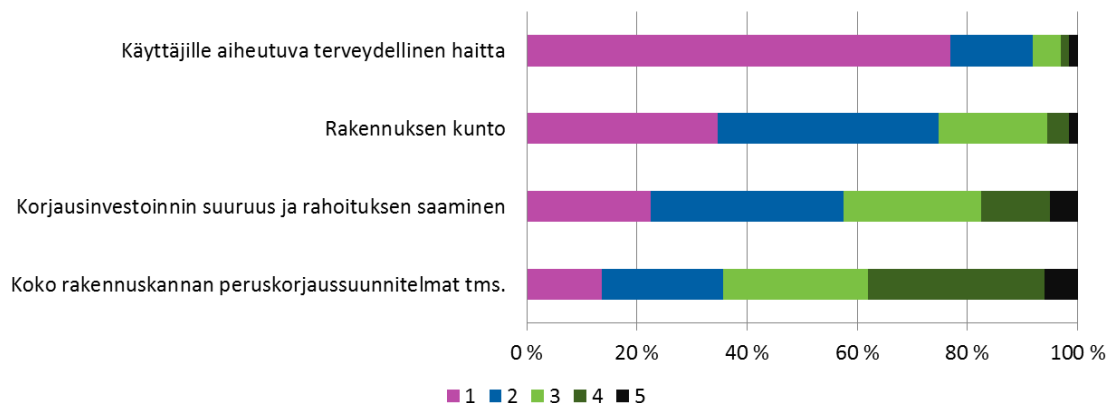
Rakennus- ja talotekninen tutkimus



Kuva 4. Rakennus- ja talotekninen tutkimus lisäselvitysten yhteydessä (N=148).

Vaikka valtaosalla kunnista (70 %) on käytössä jonkinlainen toimintaohje sisäilmaongelmien hoitamiseen, vain kolmanneksella on ohjeistusta tai yhtenäiset periaatteet jatkotoimenpiteiden määrittelyyn ja niiden kiireellisyyden arviointiin (33 %) ja neljänneksellä useiden eri korjauskohteiden väliseen priorisointiin (25 %). Korjauskohteiden priorisoinnissa käytetään ensisijaisena perusteena käyttäjille aiheutuvaa terveydellistä haittaa (Kuva 5).

Korjauskohteiden priorisoinnin perusteita



Kuva 5. Korjauskohteiden priorisoinnin periaatteita (1=tärkein peruste) (N=125).

2.2.2 Verkostotyöpaja

Osana AVATER-hanketta järjestettiin syyskuussa 2016 verkostotyöpaja koskien altistumisen todennäköisyyden arviointia ja toimenpiteiden kiireellisyyden määrittelyä. Työpajaan osallistui

20 sisäilma-alan yritysten, tutkimuslaitosten sekä kuntien edustajaa. Työpajassa esiteltiin kuntakyselyn tuloksia, TTL:n ohjeistus altistumisolosuhteen arviointiin sekä toimenpiteiden ja niiden kiireellisyyden määrittelyn perusteita eräässä kunnassa.

Työpajassa järjestettiin myös ”Working cafe”, jossa teemoina olivat 1) Altistumisolosuhteen arviointi, 2) Johtopäätökset ja toimenpidesuositukset kuntotutkimusraporteissa - mitä päätöksentekijä tarvitsee tehdäkseen oikeita päätöksiä ja 3) Toimenpiteiden kiireellisyyden periaatteet.

Altistumisolosuhteen arviointia pohdittiin sekä asuntojen että koulujen/päiväkotien näkökulmasta. Asunnoissa ja asunto-osakeyhtiöissä ongelmana ovat usein resurssien ja osaamisen puute. Yksityisten toimijoiden voi myös olla vaikea löytää päteviä yhteistyökumppaneita. Rakennusta tutkivan tahon tulisi ymmärtää periaatteet, jolla altistumista arvioidaan. Todettiin, että etenkin isännöitsijöille tarvittaisiin koulutusta. Isoissa rakennuksissa, kuten kouluissa ja päiväkodeissa, voi kokonaisuuden hallitseminen olosuhdearviota tehtäessä olla vaikeaa. Korostettiin riittävien lähtötietojen merkitystä ja onnistunutta tilojen valintaa; rakennus tulee tutkia kokonaisuutena, mutta toimenpiteet voidaan rajata yhteenkin tilaan.

Kuntotutkimusraportin tulee olla käyttökelpoinen terveydellisen merkityksen arviota tekeväälle. Siinä olisikin kyttävä havaintojen listaamisen lisäksi myös arvioimaan löydösten merkitystä. Raportissa tulee olla asiantuntijan kannanotto tilanteesta perusteluineen ja toimenpideehdotuksineen. Arviot ja toimenpide-ehdotukset olisi hyvä kuvata esimerkiksi rakenteittain ja tiloittain käyttäen yhtenäistä luokittelua. Johtopäätöksenä todettiin, että kuntotutkimusraporteissa on tärkeä arvioida paremmin tehtyjen havaintojen merkitystä käyttäjien altistumiselle. Kuntotutkimukset on ohjeistettu ja raporttipohja on julkaistu Ympäristöministeriön Ympäristöoppaassa 2016 (Pitkäranta 2016). Raportointiohjeen tarkentamista tai muita tapoja jalkauttaa asiaa tulee harkita.

Toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnin tulee edetä altistumisen (olosuhteen) arviointi edellä. Käyttäjien kokemukset olosuhteista ja oireista kuitenkin tukevat tehtyä arvioita. On huomioitava, että oireet voivat myös liittyä moniin muihin kuin sisäilmatekijöihin. Ennakoiva hallinta ja esimerkiksi säännöllisesti tehty sisäilmakyselyt voivat auttaa havaitsemaan trendejä olosuhdehaittojen ja oireiden esiintyvyydessä pidemmällä aikavälillä. Yleisenä johtopäätöksenä todettiin, että vaurioiden ja ongelmien terveysperusteista luokittelua pitäisi kehittää. Myös korjausmenetelmien vaikuttavuudesta tulisi olla enemmän tietoa.

2.2.3 Toimintatavat muissa maissa

THL selvitti eri maiden toimintatapoja kosteus- ja homevaurioiden terveydellisen haitan arvioinnissa lähettämällä lyhyen kyselyn 37 eri maahan. Kyselyyn vastattiin 13 maasta (Albania, Kroatia, Bulgaria, Suomi, Unkari, Saksa, Tanska, Portugali, Viro, Ranska, Liettua, Venäjä ja Slovakia) eli vastausprosentti oli vain 35 %. Vastanneista 54 % (n=7) raportoi, että maassa ei ole virallista kansallista ohjetta tai suositusta siitä, kuinka kosteus- ja homevaurion aiheuttama terveysriskiä arvioidaan. 46 % vastanneista (n=6) ilmoitti ohjeistusta olevan: 31 % ministeriön tai muun hallinnollisen tahon asettamana ja 15 % muiden tahojen asettamana. Kyseistä ohjeistusta käytetään kaikille sisäympäristöille 50 % maista. Ohjeistusta on annettu erikseen mm. kouluille, asunnoille ja päiväkodeille puolestaan 50 % maista.

Yli 80 % maista, joilla on ohjeistus, raportoi, että altistumisen arviointi perustuu rakennuksen kosteusvaurioiden tekniseen selvittelyyn. Kaksi kuudesta maasta raportoi, että altistuksen arvioinnissa huomioidaan altistumisen todennäköisyys yhdessä rakennusteknisten tutkimusten tai asukkaiden raportointien kosteus- ja homevaurioiden kanssa. 67 % vastaajista (n=4),

joilla ohjeistus oli, ilmoitti puolestaan käyttävänsä altistumisen arvioinnissa mikrobimittauksia, rakennusteknisiä tutkimuksia tai asukkaiden raportoimia tietoja kosteus- ja homevaurioista ilman altistumisen todennäköisyyden arviointia. Vastaajien, joilla ohjeistus oli (n=6), mukaan asukkaiden terveys huomioidaan joko raportoituna oireina käyttämättä kyselyjä (50 %) tai lääkärin diagnosoimina terveysvaikutuksina /oireina (67 %).

2.2.4 Johtopäätökset ja suositukset

Valtaosassa kyselyyn ja haastatteluihin osallistuneista kunnista koulujen sisäilmatilanne arvioidaan hyväksi ja ongelmien hallinnassa koetaan onnistuneen hyvin. Kuitenkin noin 10 – 30 prosentissa kuntia tilanne koetaan haastavammaksi tai jopa vaikeaksi, ja ongelmia voi olla useilla sisäilmaongelmien hallinnan eri osa-alueilla. Tutkimustulos sisäilmatilanteen parane- misesta ei vastaa julkisuudessa esiintyvää keskustelua.

Eräs keskeisimmistä haasteista liittyy siihen, että valtaosalla kunnista ei ole ohjeistusta tai yhtenäisiä periaatteita useiden eri korjauskohteiden väliseen priorisointiin. Myös pitkäntähtäimen suunnitelmien tekemisessä ja ennaltaehkäisevässä toiminnassa on puutteita monessa kunnassa.

Kaikilla kunnilla ei ole lainkaan yhtenäisiä prosesseja tai selkeitä toimintaohjeita sisäilmaongelmien hoitamiseen. Myös työnjaossa voi olla epäselvyyksiä. Sisäilmaongelmien selvittämisen perustana tulisi kuitenkin olla systemaattinen ja hyvin jäsennelty prosessi, jonka kaikissa vaiheissa työnjako ja vastuut on määritelty selkeästi eri toimijoiden kesken. Parhaimmillaan sisäilmaongelmien selvittäminen on moniammatillista eri asiantuntijoiden välistä yhteistyötä, jossa jokainen tuntee oman roolinsa ja on sitoutunut yhteiseen toimintatapaan. Moniammatillisessa ryhmässä tulee olla mukana mm. kiinteistöhallinnan ja -huollon, työ- ja kouluterveydenhuollon, terveyden- ja työsuojeluviranomaisten sekä käyttäjien edustajia, jotka ovat mukana asian selvittämisessä, ja kuntotutkijoita tai muita asiantuntijoita, jotka selvittävät sisäilmaongelmaa.

Vain kolmanneksella kunnista on ohjeistusta tai yhtenäiset periaatteet jatkotoimenpiteiden määrittelyyn ja niiden kiireellisyyden arviointiin. Tällä hetkellä kiireellisyyden arvioinnissa käytetään ensisijaisina kriteereinä terveyshaittaa aiheuttavien olosuhteiden esiintymistä sekä käyttäjien terveydentilaa ja oireita. Terveystilanteen merkityksen arviointi on kuitenkin monille kunnille erittäin haasteellista, sillä selkeät kriteerit sen määrittämiseksi puuttuvat. Sisäilma-asioihin liittyvä asiantuntemus ja osaaminen arvioidaan suuressa osassa kuntia riittämättömäksi useilla eri osa-alueilla. Noin 10 - 20 % kunnista osaamista koetaan olevan useilla osa-alueilla huonosti.

Ongelmat paitsi toimijoiden välisessä yhteistyössä myös sisäisessä ja ulkoisessa viestinnässä (esim. hajanaiset käytännöt ilmoitusprosessissa, tietojen tallentamisessa ja jakamisessa) luovat myös haasteita. Sisäisen tiedonkulun kannalta olisi suositeltavaa ottaa käyttöön yhtenäinen sähköinen järjestelmä, johon kaikki päätöksentekoa varten tarvittavat tiedot dokumentoidaan ja jota kautta tiedot välittyvät kaikille asianosaisille ja edelleen seuraaviin vaiheisiin. Tämä tarve korostuu maakuntauudistuksen myötä, kun toimijoita tulee olemaan sekä kunnassa että maakunnassa. Maakuntauudistuksen yhteydessä osa sisäilma-asioihin liittyvistä viranomaisista siirtyy maakunnan palvelukseen, esimerkiksi kuntien terveydensuojeluviranomaiset ja terveydenhuolto. Vastaavasti kuntiin jäävät rakennusvalvontaviranomaiset, kuntien kiinteistöistä vastaavat tahot ja kunnan työsuojeluorganisaatio.

Maakuntauudistuksen yhteydessä eri toimijoiden välisestä yhteistyöstä myös sisäilma-asioissa on tarpeen huolehtia, jotta sisäilma-asioiden käsittely olisi sujuvaa. Maakuntauudis-

tuksessa on myös mahdollisuus rakentaa erityisesti pienempiä kuntia tukevaa asiantuntija-apua sisäilma-asioihin. Yhteistyöstä tulisi sopia matalalla kynnyksellä ja hyödyntää esimerkiksi digitaalisia palveluja. Organisaatiomuutosta ei pidä ajatella sujuvan yhteistyön esteeksi.

Kansainvälisen kyselyn perusteella home- ja kosteusvaurioiden aiheuttaman terveydellisen merkityksen arviointiin ei ole olemassa kattavasti ohjeistusta – ohjeistusta oli vain kuudessa kolmestatoista vastanneesta maasta.

Suosituksia terveydellisen merkityksen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arviointiin

- Terveydellisen merkityksen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnin tulee perustua kokonaisvaltaiseen altistumisen arviointiin
 - Altistumisen arvioinnissa huomioidaan paitsi altistumisen voimakkuus ja todennäköisyys myös altistumisen kesto ja toistuvuus (eli kuinka kauan ja miten usein tilassa ollaan).
 - Rakennus tulee tutkia kokonaisuutena. Rajallinen ongelma ei kuitenkaan välttämättä vaikuta koko rakennukseen ja toimenpiteet voidaan rajoittaa vain tiloihin, joita ongelma koskee.
- Arvioinnissa tulee huomioida myös käyttäjien kokemat olosuhdehaitat, oireet ja sairastaminen. Koettujen haittojen, oireiden ja sairastavuuden poikkeava esiintyminen voi korostaa toimenpiteiden kiireellisyyttä.
- Ongelmia on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti. Aina altistavia tekijöitä ei löydetä ja esimerkiksi koettua oireilua voivat selittää monet muut kuin sisäilmaan liittyvät tekijät (kuten henkilön muu elinympäristö, terveydentila, elämäntavat, stressi tai huono työilmapiiri). Tarvittaessa voidaan käyttää yksilökohtaisia ratkaisuja.
- Altistumisen arviointiin, toimenpiteiden määrittelyyn ja priorisointiin tarvitaan lisää ohjeistusta.
 - Työterveyslaitoksen altistumisolosuhteiden arviointimallin periaatteet luovat hyvän pohjan (Lappalainen ym. 2016: Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen).
 - Tarvitaan tarkempaa tietoa erityisesti siitä, mitä tutkimuksia erilaisissa tilanteissa tulee tai kannattaa tehdä, miten tutkimukset tulee rajata ja mitkä ovat tällä hetkellä käytettävissä olevien menetelmien rajoitukset. Myös tutkimustulosten tulkintaan terveydellisen merkityksen näkökulmasta kaivataan tukea.
- Terveydellisen merkityksen ja kiireellisyyden arviointia tulisi tehdä asiantuntijaryhmässä, joka tuntee hyvin rakennuksen altistumisolosuhteet, rakennuksen käyttötarcoituksen ja -asteen sekä käyttäjien terveysnäkökohdat. Tämä voi olla esimerkiksi kuntotutkijan, terveystarkastajan ja lääkärin muodostama työryhmä.
- Samoin päätökset rakennukselle tehtävistä toimenpiteistä olisi suositeltavaa tehdä useamman tahon yhteistyönä niin, että asiantuntijat, jotka ovat perehtyneet rakennuksen altistumisolosuhteisiin ja käyttäjien terveyteen, ovat mukana päätöksenteossa ja/tai esittelemässä rakennuksen terveellisyteen vaikuttavat seikat.
- Rakennusten kuntotutkimukset ovat tärkeä osa altistumisen arviointia ja niistä laadittujen raporttien on oltava käyttökelpoisia terveydellisen merkityksen arviota tekeväälle eli esimerkiksi terveystarkastajan ja lääkärin muodostamalle työparille.

- Raporteissa tulisikin arvioida myös rakennuksesta tehtyjen havaintojen merkitystä käyttäjien altistumiselle ja antaa toimenpide-ehdotuksia.
- Kuntotutkijan tulee laatia selkeä ja konkreettisia suosituksia sisältävä yhteenveto, jonka perusteella tilaaja pystyy valitsemaan sopivimman korjaustavan sekä muut jatkotoimenpiteet. Kuntotutkimukset on ohjeistettu ja raporttipohja on julkaistu Ympäristöministeriön Ympäristöoppaassa 2016 (Pitkäranta 2016).
- Lääkäreille tarvitaan lisää ohjeistusta ja koulutusta terveydellisen merkityksen arviointiin, sillä esimerkiksi työterveyslääkäreiden osaaminen ja toimintatavat vaihtelevat paljon eri kunnissa.
- Kouluterveydenhuollon roolia tulee täsmentää.

Suosituksia koko sisäilmaongelman hallintaprosessiin

- Eriasteisten sisäilmaongelmien ratkaisemiseen tarvitaan yksityiskohtainen prosessikuvaus, jossa esitetään selkeästi kunnan eri toimijoiden roolit ja vastuut. Mallia voisi ottaa kunnista, joissa on käytössä hyviä toimintatapoja. Tässä tulisi ottaa huomioon maakunnan/kunnan koko.
- Ohjeistusta tarvitaan etenkin sisäilmaongelmien selvittämisen prosessin alkuvaiheeseen, jotta saadaan luotua hyvä toimintarutiini tavanomaisten ja helppojen tapausten nopeaan hoitamiseen. Tämänhetkinen ohjeistus painottuu vaikeisiin tapauksiin ja sopii paremmin isoille toimijoille.
- Sisäilmaongelmien hoitamisessa tulisi kiinnittää huomiota sisäiseen viestintään ja tiedonkulkuun.
 - Kunnissa tulisi olla käytössä yhtenäinen sähköinen järjestelmä, johon kaikki päätöksentekoa varten tarvittavat tiedot dokumentoidaan ja jota kautta tiedot välittyvät kaikille vastuussa oleville toimijoille ja edelleen seuraaviin vaiheisiin.
- Myös oikea-aikainen ja aktiivinen ulkoinen viestintä ja luottamuksen rakentaminen ovat ratkaisevan tärkeä osa prosessia.
- Moniammatillisen ryhmän yhteinen näkemys tuo tukea viestintään erityisesti tapauksissa, joissa ongelman aiheuttaja ei ole ilmeinen, korjaukset viivästyvät tai ongelma muutoin pitkittyy.
- Sisäilma-asioihin liittyvää osaamista kunnissa on lisättävä.
- Erityisesti rehtorit tarvitsevat koulutusta ja tukea rooliinsa koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa.
- Myös käyttäjille (opettajat, muu henkilökunta, oppilaat ja heidän vanhempansa) tarvitaan tietopaketti siitä, miten toimia ja mitä odottaa, kun koulussa epäillään tai on havaittu sisäilmaongelmia.

Lähteet ja tausta-aineistot

Alastalo, T (2013). Kuntien kiinteistöjen hallinta kosteusvaurionäkökulmasta. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Hekkanen, M (2006). Kosteus- ja homeongelmien havaitseminen, korjaus ja ehkäisy kuntien rakennuksissa. Kuntaliitto.

Kero, P (2011). Kosteus- ja homevauriokorjausprosessin arviointi kuntien kiinteistöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Lahtinen, M, Lappalainen, S, Reijula, K (2006). Sisäilman hyväksi. Toimintamalli vaikeiden sisäilmaongelmien ratkaisuun. Työterveyslaitos.

Lappalainen, S, Lahtinen, M, Hapuoja P ym. (2010). Sisäympäristöongelmien ratkaiseminen kuntien rakennuksissa. Ohje toimintatavoista sisäympäristöongelmia hoitaville ryhmille ja henkilöille. Kuntaliitto.

Lappalainen, S, Reijula, K, Tähtinen, K ym. (2016). Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos. <https://www.julkari.fi/handle/10024/129932>

Pekkola, V, Metiäinen, P, Mussalo-Rauhamaa, H ym. (2011). Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Ympäristöministeriö.

Pitkäranta, M (Toim.) (2016). Ympäristöopas 2016: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kunto-tutkimus. Ympäristöministeriö. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>

Salonen, H, Lahtinen, M, Lappalainen, S ym. (2015). Kosteus- ja homevauriot – Ratkaisuja työpaikoille. Työterveyslaitos.

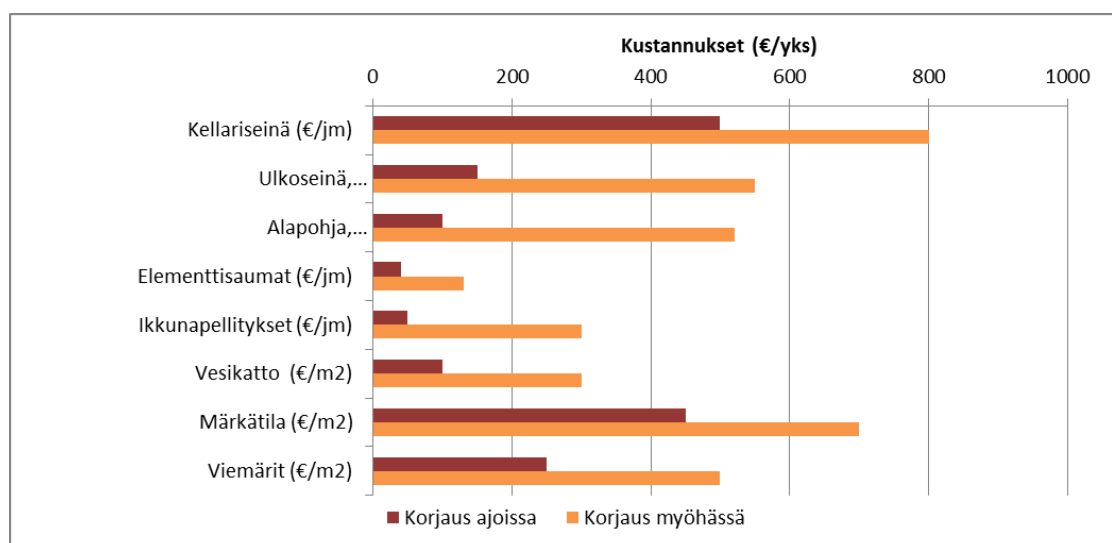
Ung-Lanki, S, Turunen, M, Hyvärinen, A (2017) Kuntien toimintatavat koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-836-4>

2.3 Laadunhallintaa päätöksentekoon ja korjausten onnistumiseen

Paavo Kero, Tero Marttila, Jommi Suonketo, TTY

Rakennusten korjaushankkeisiin liittyvän päätöksenteon toimintamalleja ja siihen liittyviä kimpupisteitä tarkasteltiin aiemmissa tutkimushankkeissa kerätyn tietoaineiston perusteella. Taavoitteena oli löytää oleelliset päätöksenteossa tarvittavat tiedot. Lisäksi tarkasteltiin kriittisiä kohtia korjausten onnistumisen takana.

Suomen rakennusten korjausvelan arvioidaan olevan noin 30-50 miljardia euroa (Vehmas-koski 2013). Vuonna 2015 korjausrakentamisen arvo oli noin 6,8 miljardia euroa (Tilastokeskus 2016). Tämä on korjausvelkaan ja rakennusten kuntoon nähden liian vähän. Korjausten lykkääminen edesauttaa vaurioiden laajenemista ja näin ollen kasvattaa korjauskustannuksia. Vaurioiden ennakoiva korjaaminen on 60 – 500 % edullisempaa myöhässä tehtävään korjaamiseen verrattuna (Kero 2016). Alla olevassa kuvassa on esitetty eri rakenteiden ja järjestelmien korjauskustannuksia ennakolta ja myöhässä korjattaessa. Prosentuaalisesti suurimmat säästöt ennakolta korjaamisessa kohdistuivat alapohjiin sekä ulkoseiniin, elementtisaumauksiin sekä ikkunapellityksiin.



Kuva 6. Ennakoivan korjaamisen kustannussäästöt (Kero 2016)

Rakennusten ylläpitoon ja ennakoivaan korjaamiseen tulisi suunnata nykyistä enemmän rahoitusta, jotta rakennuskannan kunnon heikkeneminen saadaan pysähtymään. Rakennuskannan yleistä kuntoa voidaan parantaa myös luopumalla vanhoista rakennuksista ja keskittää toimintaa parempikuntoisiin rakennuksiin.

Suurimpana kysymyksenä tai haasteena tiedolla johtamisessa korjausrakentamisen osalta on ratkaista, mitkä kiinteistöt on kannattavaa korjata ja missä järjestyksessä korjaaminen kannattaa suorittaa. Ongelmaksi muodostuu luotettavan tiedon saaminen rakennusten kunnosta ja tarvittavista korjauksista. Kattavien kuntotutkimusten teettäminen koko rakennuskannalle on haastavaa, joten yleensä päätökset rakennuskannan toimenpiteistä tehdään hyvin karkean tason tiedoilla. Vaihtoehtoisia ratkaisuja pohdittaessa tarvitaan usein tietoa myös muista alueen kiinteistöistä, jotta voidaan tarkastella ratkaisuja laajemman kiinteistökannan näkökulmasta. Tätä kautta on mahdollisuus saada riittävän tarkkaa tietoa palveluverkkosuunnitelman laadintaan.

Tutkimus- ja suunnittelupalveluita hankittaessa tulee huomioida toimijoiden pätevyysvaatimukset. Terveysturvallisuuslain muutos (1237/2014) sekä sosiaali- ja terveysministeriön asetus (545/2015) asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista määrittelevät korjaushankkeeseen osallistuvien pätevyysvaatimukset. Lisäksi Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) rakennuslupahakemusta käsittelevässä 131 §:ssä todetaan, että rakennuslupahakemukseen voidaan edellyttää liitettäväksi pätevän henkilön laatima selvitys rakennuksen kunnosta.

Tyypillisesti rakennusten korjauksiin on edetty melko suoraviivaisesti ongelmien tai vaurioiden ilmaantuessa. Tutkimukset on usein rajattu koskemaan vain ilmi tulleen ongelman selvittämistä. Tutkimusten jälkeen ongelma ja sen aiheuttaja on pyritty poistamaan korjaamalla tai uusimalla vaurioituneet rakenteet ja järjestelmät. Korjataan niin sanotusti ongelma kerrallaan.

Vaihtoehtoisia ratkaisuja tai korjauksen kannattavaa laajuutta ei useinkaan pohdita (Kero 2011). Tämän seurauksena voidaan ajautua esimerkiksi tilanteeseen, että rakennuksessa, jossa on juuri uusittu ilmanvaihtojärjestelmä ja vaihdettu ikkunat, todetaan laajat kosteus- ja homevauriot. Näiden paljastuneiden vaurioiden seurauksena koko rakennuksen korjaaminen ei enää välttämättä ole kannattavaa ja jo tehdyt korjaukset menevät lähes täysin hukkaan. Rakennuksen kattavat kuntotutkimukset ovat siis erittäin tärkeässä asemassa rakennuksen korjaustoimenpiteiden ja muiden vaihtoehtojen valinnassa. Tutkimuksia ei pidä rajata vain senhetkisen akuutin ongelman selvittämiseen, vaan koko rakennuksen kunto tulee selvittää.

Rakennuksen teknisen kunnan lisäksi korjauskohteiden päätöksenteossa tulisi tarkastella myös olemassa olevien kiinteistöjen toiminnallista tasoa. Usein toiminnassa on tapahtunut muutoksia rakennuksen valmistumisen jälkeen, mikä aiheuttaa ongelmia tilojen käytettävyydelle ja tehokkaalle toiminnalle. Teknisen kunnan aiheuttamat korjaustarpeet voivat olla myös mahdollisuus uudistaa tiloja vastaamaan paremmin nykyisiä ja tulevia käyttötarpeita sekä tehostaa toimintaa. Laajan korjauksen yhteydessä voidaan luontevasti myös pohtia nykyisiä toimintatapoja ja mahdollisuuksia tehostaa niitä.

Suosituksia päätöksentekoon ja korjausten onnistumiseen

- Rakennusten kunnossapitoon ja ennakoivaan korjaamiseen tulisi panostaa nykyistä enemmän.
- Rakennusten tutkimisessa tulisi tarkastella rakennusta aina kokonaisuutena. Osatutkimuksia tulisi välttää.
- Laajojen korjaustoimenpiteiden rinnalla tulisi pohtia myös uudisrakentamisvaihtoehtoa.
- Korjaukset arvioidaan myös palveluverkko huomioiden.

Lähteet ja tausta-aineistot

Kero, P (2011). Kosteus- ja homevauriokorjausprosessin arviointi kuntien kiinteistöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Kero, P (2016). Korjaa ajoissa ja säästä – Ennakoivan korjaamisen kustannussäästöt. Ympäristöministeriö.

Laki terveydensuojelulain muuttamisesta 1237/2014. Annettu Helsingissä 19.12.2014.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Annettu Helsingissä 23.4.2015.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Korjausrakentaminen [verkkajulkaisu].

ISSN=1799-2958. Rakennusten Ja Asuntojen Korjaukset 2015. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 7.2.2017].

Suunnitelmallinen kiinteistönpito. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiöt/Suunnitelmallinen_kiinteistön_pito

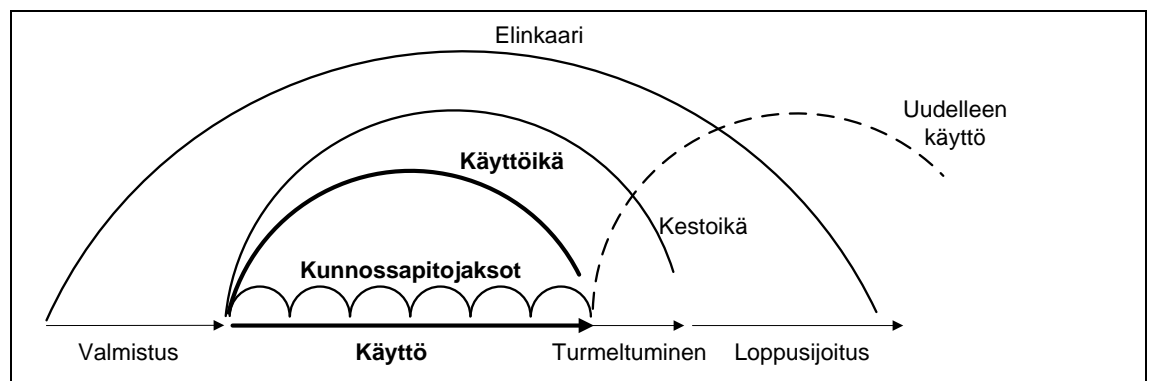
Vehmaskoski, T (2013). Rakennetun omaisuuden tila 2013. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

2.4 Tiedolla johtaminen ennakoivassa kiinteistönpidossa

Paavo Kero, Tero Marttila, Jommi Suonketo, TTY

Osiassa tarkasteltiin nykyisiä kiinteistönpidon toimintamalleja aiemmissa tutkimushankkeissa kerätyn tutkimusaineiston ja hankkeessa toteutettujen verkostotyöpajojen perusteella. Lisäksi hyödynnettiin konsulttitoiminnan kautta saatuja käytännön kokemuksia kiinteistöjen ylläpidosta.

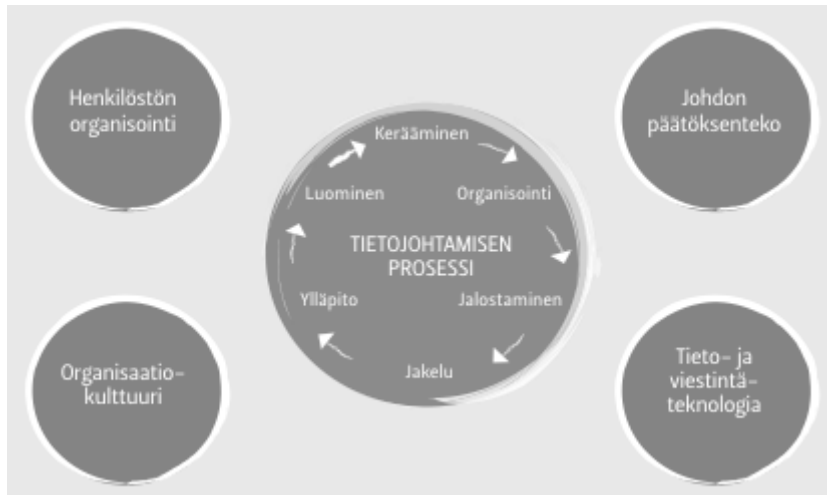
Rakennuksen pysyminen toimintakuntoisena vaatii säännöllistä kunnossapitoa sekä ajoittain perusteellisempia korjauksia (Myyryläinen 2003). Jotta toimenpiteet voidaan ajoittaa oikeaan kohtaan, tarvitaan rakenteiden ja teknisten järjestelmien kunnosta sekä niiden toiminnasta tarkkaa ja ajankohtaista tietoa.



Kuva 7. Kiinteistön elinkaari (Myyryläinen 2003)

Kiinteistön elinkaaren eri vaiheissa syntyy runsaasti kiinteistöä koskevaa tietoa. Suurin osa syntyvästä tiedosta tuotetaan rakennuksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheissa. Osa tästä tiedosta siirretään eteenpäin esimerkiksi käyttö- ja huolto-ohjeen muodossa, mutta suurin osa kerääntyneestä tiedosta jää hyödyntämättä kiinteistön käyttöönoton jälkeen. Lisäksi käyttö- ja huolto-ohjeet laaditaan suunnitteluvaiheessa, mutta usein varsinkin korjaushankkeissa joudutaan tekemään muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin. Näiden muutoksien vaikutukset rakennuksen käyttöön ja huoltoon tulisi huomioida myös lopullisia käyttö- ja huolto-ohjetta laadittaessa. Suunnittelijoilla ei myöskään ole välttämättä riittävää osaamista huolto- ja ylläpitotoiminnasta, joten huolto-ohjeet voivat jäädä tästä syystä puutteellisiksi. Hyvä toimintamalli olisi tuoda huolto- ja ylläpitotoimijat viimeistään rakentamisvaiheessa mukaan hankkeeseen laatimaan käyttö- ja huolto-ohjeistusta yhdessä suunnittelijoiden kanssa.

Alla olevassa kuvassa 8 on esitetty tietojohdamisen prosessi. Kiinteistönpidossa tarvittaisiin samantyyppistä jatkuvaa tiedonkeräämisen ja hyödyntämisen toimintamallia. Tiedon tuottaminen, kerääminen ja sen hyödyntäminen tulisi nähdä jatkuvana prosessina, jossa kerätään tietoa seuraava vaihetta varten. Ajantasaisen tiedon tuottamisessa ja hyödyntämisessä digitaalisten palveluiden käyttöä on syytä kehittää.



Kuva 8. Tietojohtamisen prosessi (Laihonen ym. 2013)

Kiinteistönpidossa sekä varsinkin erilaisten virhetilanteiden tai sisäilmaongelmien selvittelyssä törmätään usein tilanteeseen, jossa rakennuksesta tarvittavaa tietoa ei ole käytettävissä tai sitä ei löydetä. Monissa tapauksissa tiedon saa melko helposti paikan päällä tehtävän katselmuksen avulla. On tarve luoda järjestelmä systemaattiselle tiedon keräämiselle, jotta tarvittavat perustiedot rakennuksesta olisivat varmasti aina tarvittaessa saatavilla. Tällaisia tarvittavia tietoja ovat mm:

- Tarkat tiedot rakenneratkaisuista, niiden iästä ja toteutetuista korjauksista
- Tarkat tiedot taloteknisistä järjestelmistä
- Kiinteistön huollon tiedot rakenteista ja järjestelmistä havaituista puutteista/virhetilanteista
- Käyttäjien kokemukset kiinteistöstä säännöllisesti (esim. 1-2 vuoden välein toteutetun haastattelun avulla)

Suurilla kiinteistönomistajilla on usein käytössä kiinteistötietojärjestelmä, johon tallennetaan kaikki kiinteistöön liittyvät tiedot. Järjestelmä on usein toiminut jo rakentamisvaiheen projekti-pankkina ja käyttöönoton jälkeen sinne lisätään käyttöön liittyvää tietoa, esimerkiksi käyttäjien vikailmoitukset voidaan ohjata järjestelmän kautta. Kiinteistönhuolto voi käyttää järjestelmää myös oman työnsä organisoinnissa. Tämän seurauksena järjestelmässä on erittäin paljon kiinteistön liittyvää tietoa, mutta se on hankalasti löydettävissä ja käytettävissä. Kerääntyvää tietoa ei myöskään yleensä analysoida jälkeenpäin ja pystytään näin tarkastelemaan järjestelmien toimintaa, niiden vikaantumista tai ennakoimaan laitteiden vikaantumista. (Kero 2011)

Suurin osa tarvittavan tiedon hankinnasta tehdään kertaluonteisesti. Olisi tarve kehittää ja ottaa käyttöön toimintatapoja, jossa kertaluonteisesta tiedonhankinnasta siirryttäisiin järjestelmälliseen tiedon keräämiseen ja jalostamiseen:

1. Kiinteistökanta kirjataan yhteen listaan.
 - Kiinteistökustannusten määrittäminen ja vertailu (€/m² ja €/käyttäjä)
 - Kustannusvertailu kohteittain ja valtakunnan tasoon nähden
2. Rakennuksista tehdään karkean tason jaottelu rakennetyyppien perusteella.

- Valesokkelit, tasakatot, tiili-villa-tiili –seinät, alalaatta-välipohjat jne.
3. Kohdekohtainen arviointi
- Pisteytys kohdekohtaisesti oletettujen/todettujen riskien perusteella
4. Kattavat kuntotutkimukset
- Varmistavat luotettavan lähtökohdan korjaukselle

Rakennusautomaation avulla on mahdollista mittaroida ja seurata kattavasti rakennuksen sisäympäristöä ja tätä kautta seurata myös sisäilman laatua. Sisätiloista voidaan mitata esimerkiksi paine-eroa, lämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä jne. Näiden avulla saadaan hyödyllistä tietoa järjestelmien toiminnasta, mutta mittausten seuranta tulee olla suunniteltua ja sitä täytyy toteuttaa säännöllisesti. Toistaiseksi suurimpana ongelmana uusien teknologioiden laajemmalla hyödyntämiselle on ollut eri järjestelmien yhteentoimivuusongelmat.

2.4.1 Suosituksia ennakoivaan kiinteistönpitoon

- Tulee luoda toimintamalli jatkuvaan tiedonkeruuseen.
- Kertyvää tietoa-aineistoa täytyy tiivistää ja analysoida.
- Rakentamisvaiheessa kertyvä tietoa tulee siirtää nykyistä paremmin käyttövaiheeseen.
- Eri käyttäjäryhmät (käyttäjät, siivoajat, kiinteistönhuolto, isännöitsijä, kiinteistöpäällikkö) tulisi ottaa mukaan tiedonkeräämiseen.
- Huolto tulisi ottaa mukaan laatimaan käyttö- ja huolto-ohjetta.
- Digitaalisten palveluiden kehittäminen ja käyttöönotto kiinteistönpitoon liittyvän tiedon keräämiseen ja hallintaan.

Lähteet ja tausta-aineistot

Kero, P (2011). Kosteus- ja homevauriokorjausprosessin arviointi kuntien kiinteistöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.

Laihonen, H, Hannula M, Helander N ym. (2013) Tietojohdaminen. Tampereen teknillinen yliopisto.

Myrskyläinen, L (2003). Kiinteistön kunnossapidon ja elinkaaren hallinta. Suomen kiinteistöliitto.

Suunnitelmallinen kiinteistönpito. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Suunnitelmallinen_kiinteistonpito

3. OSA B. TAVOITTEENA TERVE TALO

3.1 Terveen talon toteutuksen kriteerit

Tero Marttila, Jommi Suonketo, Petri Annila ja Paavo Kero, TTY

Terveen talon toteutuksen kriteereillä ja suosituksilla kuvataan tärkeimmät tilaamiseen, suunnitteluun, rakentamiseen ja kiinteistönpitoon liittyvät vaatimukset, jotka toteuttamalla aikaan saadaan toimiva, terveellinen ja vaaditut sisäilmasto-olosuhteet täyttävä rakennus. Kriteerit ja suositukset on tarkoitettu käytettäväksi rakennushankkeen kaikissa vaiheissa. Ne on esitetty rakentamisprosessin edistymisen mukaan ryhmiteltyinä lähtien tavoitteiden asettelusta hankkeen alussa ja päätyen rakennuksen käyttöönottoon, kunnossapitoon ja käytön ohjaukseen.

3.1.1 Tausta ja päivitystarpeet

Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen (Tekes) rahoittama Terve talo – teknologiaohjelma toteutettiin vuosina 1998-2002. Ohjelma tuotti loppuraportin lisäksi lukuisia osajulkaisuja. Tunnetuimmat Terve talo -tuotokset ovat ohjelman jälkeen julkaistut Rakennustiedon ohjekortit:

- RT 07-10805, Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle, 2003
- RT 07-10832, Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle, 2004

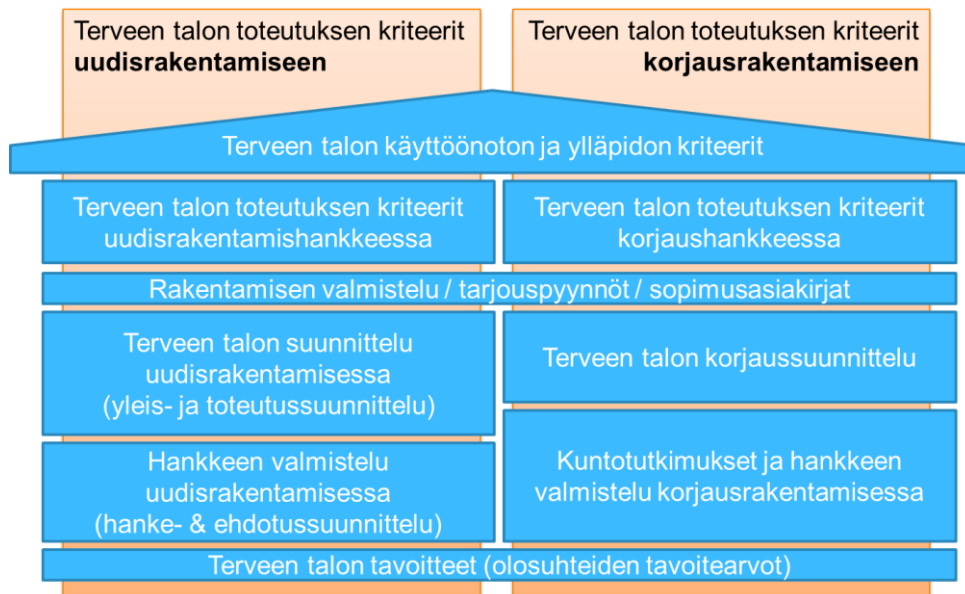
Nämä Rakennustietosäätiön julkaisemat ohjekortit painottuvat uudisrakentamiseen ja korostavat erityisesti ilmanvaihtoon (IV) liittyviä asioita. Korteissa annettuja kriteerejä on ollut mahdollista käyttää soveltuvilta osin myös korjausrakentamiseen, mutta korjaamisen erityispiirteistä ei ole laadittu erillisiä kriteerejä.

Rakennustekniset näkökulmat ja korjausrakentaminen ovat nousseet vahvemmin osaksi Terve talo -periaatteita yritysten ja opinnäytetöiden avulla. Erityisesti konsulttiyritykset ovat soveltaneet kriteerejä tarjotessaan Terve talo -koordinointia projektinjohtamisen ja laadunvarmistamisen tueksi. Opinnäytetöitä on tehty erityisesti Jyväskylän ammattikorkeakoulussa.

Monien korjaushankkeiden hankesuunnitelmassa ja urakka-asiakirjoissa mainitaan nykyään, että hankkeessa noudatetaan Terve talo -periaatteita ja viitataan yllä mainittuihin yli 10 vuotta vanhoihin RT-kortteihin, jotka eivät varsinaisesti ota huomioon keskeisiä korjausrakentamisen näkökulmia. Tästä syystä kriteerejä on päivitetty osana AVATER-hanketta. Päivitystyön keskeisimmät lähtökohdat olivat:

- korjausrakentamisen erityispiirteiden huomioon ottaminen
- sisäilman olosuhteiden tavoitearvojen asettamisen ja niiden todentamisen konkreettiset vaatimukset
- epäolennaisuuksien karsiminen nykytiedon ja vakiintuneiden toimintatapojen näkökulmasta
- aiempaa selkeämmän ja tiiviimmän kokonaisuuden kehittäminen

Käytännössä keskeisimpiä päivityskohteita on ollut asunto- ja toimitilarakentamisen välisen erottelun poistaminen. Sen sijaan AVATER-hankkeessa päivitetyissä ohjekorteissa korjausrakentaminen on erotettu erilliseksi ohjekortiksi uudisrakentamisesta.



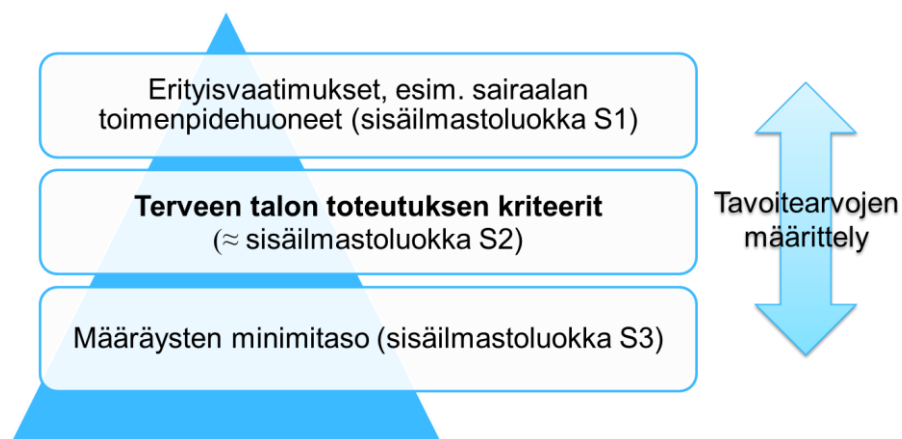
Kuva 9. Uudisrakennuksen ja peruskorjaushankkeen terveellinen toteuttaminen vastaavat pääpiirteissään toisiaan, mutta molempiin liittyy joitakin yksilöllisiä erityispiirteitä.

Päivitetyillä kriteereillä ei ohjata tietyntyyppisen rakennuksen tuotantoon, vaan kriteerejä voidaan käyttää rakennustyyppistä ja käyttötarkoituksesta riippumatta. Kriteerien tulkintaa on selkeytetty niin, että kaikki kriteerit tulee täyttää ja siitä syystä korjausrakentamiselle ja uudisrakentamiselle on oltava erilliset ohjekortit, vaikka suurin osa kriteereistä onkin yhteisiä molemmille kriteeristöille.

3.1.2 Kriteerien määrittely ja rajaukset

Kriteerien noudattaminen aloitetaan hankesuunnitteluvaiheessa, jossa asetetaan tavoitteet ja sitoudutaan Terve talo -periaatteisiin. Periaatteilla tarkoitetaan ohjekorteissa annettujen toteutuksen kriteerien noudattamista.

Kriteereillä ja suosituksilla saavutetaan viranomaissäädöksiä ja määräysten minimitasoa laadukkaampi lopputulos, mikä yleensä vastaa sisäilmastoluokan S2 tavoitteita, kun taas sisäilmastoluokka S3 vastaa käytännössä minimitasoa (Sisäilmastoluokitus 2008).



Kuva 10. Terve talo -taso ja sisäilmastoluokitus käytännössä

Määräysten minimitason mukainen rakennuskin tulee rakentaa toimivaksi ja terveelliseksi. Terveen talon toteutuksen kriteereillä pyritään korkeampaan vaatimustasoon ja minimoidaan toteutukseen liittyviä riskejä sekä varmistetaan esimerkiksi käyttötarkoitukseltaan tai muulla tavalla poikkeuksellisen vaativan kohteen laadukas toteuttaminen tai vähintäänkin varmistetaan, että toteutukseen liittyvät riskit ovat tietoisia valintoja. Ohjekorteissa oletetaan, että rakennushankkeeseen ryhtyvä tai hänen hankkima ulkopuolinen asiantuntija tuntee rakentamishankkeeseen liittyvien lakien ja määräysten minimitason.

Erityistilojen, kuten sairaaloiden toimenpidehuoneet tai muut erityistä puhtautta edellyttävät tilat suunnitellaan ja toteutetaan kyseisiä tiloja koskevien vaatimusten ja ohjeiden mukaan. Tavanomaisissakin tiloissa ja rakennushankkeissa voidaan pyrkiä valittujen tavoitearvojen osalta tämän kriteeristön perustasoa S2 korkeampaan sisäilmastoluokkaan S1. Tavoitteet on merkittävä selvästi suunnittelu-, sopimus- ja työmaa-asiakirjoihin. Tavoitteissa ei saa esiintyä ristiriitoja ja asiakirjoista tulee löytyä selvät perustelut, mikäli tavoitetasoja on muutettu.

Kriteerit ja ohjeet koskevat erityisesti palvelu- ja toimitilarakennuksia ja niissä säännölliseen oleskeluun suunniteltuja tiloja. Kriteerejä voidaan soveltuvilta osin hyödyntää myös esimerkiksi asuin- ja tuotantotilojen toteutuksessa.

Kriteeristö on luotu ammattimaiseen rakentamiseen, mutta sitä voidaan soveltuvilta osin hyödyntää tarkastuslistana kaikenlaisissa rakennushankkeissa, myös esimerkiksi pientalojen rakennushankkeissa. Kriteerien käyttö on suositeltavaa erityisesti silloin, kun hankkeessa toimii rakennuttajan lisäksi eri alojen suunnittelijoita sekä useita urakoitsijoita. Kriteerit koskevat hankkeen koko toimiketjua, johon kuuluu tyypillisesti tilaaja, rakennuttaja, arkkitehti, rakennesuunnittelija, taloteknisiä suunnittelijoita, pääurakoitsija, ali- ja sivu-urakoitsijoita sekä ylläpito-organisaatio.

Kriteerit ja suositukset ovat apuväline, jonka avulla rakennuttaja voi varmistaa terveen talon toteutuksen. Ne täydentävät hyvää rakentamistapaa ja selkeyttävät sen tulkintaa. Kriteereillä ja suosituksilla pyritään vaikuttamaan tilojen viihtyisyyteen ja toiminnan tehokkuuteen, mutta erityisesti niillä pyritään poistamaan rakennuksesta aiheutuvia terveydellisiä riskejä eli sellaisia tekijöitä, joilla voi olla vaikutusta käyttäjien kokemuksiin oireisiin. Kriteerit ja suositukset käsittelevät rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden ja hyvän sisäilmaston (eli turvallisuuden ja terveellisuuden) kannalta kriittisiä asioita. Terve talo -periaatteita noudattamalla voidaan hallitusti rakentaa kuiva, puhdas ja teknisesti toimiva rakennus tilojen, rakenteiden ja teknisten järjestelmien osalta.

3.1.3 Kriteerien ja ohjeiden käyttö

Kriteerit on tehty käytettäväksi itsenäisenä tarkastuslistana. Niiden ymmärtäminen edellyttää rakennusalan asiantuntemusta. Kriteerit ja suositukset on eritelty ja numeroitu siten, että kiinteistö- ja rakennusalan toimivat yritykset ja muut organisaatiot voivat mahdollisimman helposti hyödyntää kriteerejä omissa sisäisissä ohjeissaan.

- Kriteerit luodaan sellaisiksi, että ne on mahdollista ja **pitääkkin täyttää kaikissa Terve talo -periaatteella toteutettavissa hankkeissa** käyttötarkoituksesta tms. riippumatta.

Kriteereihin liittyviä selvennyksiä ja ohjeita on esitetty kriteerien jälkeen. Niillä voidaan antaa yksilöllisiä tarkennuksia myös erityistapauksista

- Suositukset on esitetty erilaisella listamerkinnällä. **Ne tulee täyttää aina kun mahdollista, mutta niistä voidaan poiketa esimerkiksi käyttötarkoitukseen liittyvissä erityistapauksissa.**

Kriteeristön noudattamisesta ja rakennuksen terveellisyydestä huolehtii viime kädessä rakennushankkeeseen ryhtyvä (rakennuttaja) tai hänen edustajansa (voi olla samasta organisaatiosta tai tilaajan hankkima ulkopuolinen asiantuntija). Hankkeen edetessä rakennuttaja tai hänen edustajansa ja kunkin hankevaiheen/alaotsikon kriteerit toteuttava suunnittelija tai urakoitsija voi seurata kriteerien ja suositusten toteutumista merkitsemällä rastin ko. kriteerin edessä olevaan listamerkinnän päälle. Terve talo -periaatteiden toteutumista ja hankkeen edistymistä voidaan seurata esimerkiksi työmaakokouksissa.

Rakennuttajan on huolehdittava siitä, että Terve talo -periaatteet viedään sopimuksiin sekä suunnittelun ja rakentamisen asiakirjoihin, erityisesti urakkaohjelmaan ja urakkarajaliitteeseen (tai esimerkiksi osaksi urakoitsijan toimintajärjestelmää). Osa kriteereistä, ohjeista ja suosituksista soveltuu vietäväksi teknisiin asiakirjoihin, kuten työselostuksiin, ja osa lakisääteiseen rakennustyön tarkastusasiakirjaan. Onkin tärkeää, että Terve talo -periaatteet näkyvät yleisellä tasolla sopimusasiakirjoissa ja yksityiskohtaisesti suunnitelmissa ja muissa teknisissä asiakirjoissa.

Ohjekorttien liitettä voidaan hyödyntää olosuhteiden tavoitearvojen esittämiseen hankkeen eri vaiheissa vaadittavien asiakirjojen liitteenä. Hankkeeseen osallistuvien yritysten toimintajärjestelmissä ja hankkeelle laadituissa suunnitelmissa tarkennetaan, kuinka liitteeseen kirjatut tavoitearvot saavutetaan.

Osa kriteereistä ja suosituksista on kertaluontoisia tarkastuksia ja osa niistä tulisi ottaa huomioon läpi koko hankkeen tai hankevaiheen. Kriteeri voidaan merkitä saavutetuksi vasta, kun kriteerin toteutuminen hankkeen eri vaiheissa ja lopullisessa rakennuksessa on varmistunut.

3.1.4 Kriteeristön rakenne ja sisällön pääpiirteet

Kriteerit on jaoteltu rakennushankkeen päävaiheisiin (vaiheet 1-6 alla olevassa listassa). Päävaiheiden sisällä kriteerit on jaoteltu kunkin suunnittelualan mukaan tai muuten käyttäen selkeyttäviin alalukuihin. Seuraavassa listassa on esitetty esimerkkejä joidenkin päälukujen sisällöstä:

1) Hankkeen valmistelu

- hanke- ja ehdotussuunnittelu
- rakennustapaselostus (ARK)
- rakennusfysikaaliset tarkastelut (RAK)
- talotekninen suunnittelu (LVISA)
- rakennuttajan tehtävät

2) Suunnittelu

- yleis- ja toteutussuunnittelu

3) Rakentamisen valmistelu

- tarjouspyynnöt

4) Rakentamisvaihe

- työmaan kosteudenhallinta

5) Käyttöönotto

- laadunvarmistuksen tarkastukset

6) Kiinteistönpito

- takuu aika ja suunnitelmallinen kunnossapito

• Liite 1: Tavoitearvot

- olosuhteille annetut tavoitearvot taulukoituna

Sisällön uudistukset

Alkuperäisiin Terveen talon toteutuksen kriteereihin on päivitystyön yhteydessä lisätty kunto- tutkimuksia, purkutöitä ja muita korjaamisen erityispiirteitä koskevia kriteerejä. Näiden lisäksi uusia kriteerejä on laadittu liittyen käyttöönottoon, jälkiseurantaan ja kiinteistönpitoon. Tavoitteiden määrittelyä, asettamista, näkyvyyttä, noudattamista ja todentamista on korostettu hankkeen eri vaiheiden kriteereissä. Sen sijaan aiempiin RT-kortteihin verrattuna on karsittu:

- IV-painotteisuutta
- yksittäistapauksiin liittyviä kriteerejä tai esimerkkejä
- tulkinnan- ja harkinnanvaraisuutta kriteerien noudattamisessa
- asioita, jotka kuuluvat määräysten minimitasoon
- asioita, jotka nykyään ovat käytännössä itsestäänselvyyksiä rakentamisprosessissa
- päällekkäisiä asioita ja otsikoita sekä epäolennaisuuksia

Käytännössä merkittävä osa päivitystyötä oli siistiä kriteerien ohjetekstejä. Jotkin asiat alkuperäisissä Terveen talon toteutuksen kriteereissä on esitetty täsmälleen saman sisältöisenä kuin vuosien 2004 ja 2008 sisäilmastoluokituksissa (RT 07-10946). Uusissa kriteereissä ei suoraan toisteta muualla annettuja ohjeita, koska kriteerit on pyritty pitämään mahdollisimman tiiviinä tarkastuslistana ja siten aihepiiriä ymmärtävän rakennusalan ammattilaisen työkaluna.

Vuoden 2008 sisäilmastoluokitus sisältää hyödyllisiä ohjeita ja tietoja sisäilma-asioista, vaikka myös sisäilmastoluokitusta ollaan tietävästi aikeissa päivittää lähivuosina. Luokitusta on jo kertaalleen päivitetty RT-korttien julkaisun jälkeen ja tästä syystä korteissa esitetyt viittaukset ovat vanhentuneet. Uusissa kriteereissä ei suoraan viitata nykyiseen vuoden 2008 sisäilmastoluokitukseen, vaan kriteerit on pyritty pitämään yleisemmällä tasolla ja tarvittaessa on kehoitettu noudattamaan viimeisintä voimassa olevaa sisäilmastoluokitusta.

3.1.5 Johtopäätökset, jatkotoimenpiteet ja suositukset

Vanhat kortit eivät määritelleet riittävän selvästi, oliko kriteerejä tarkoitus noudattaa tarkastuslistana, jossa kaikki kohdat tulee täyttää vai ovatko ne enemmänkin neuvoa-antavia ohjeita. Kortteja on kuitenkin käytetty jonkinlaisena vakuutena rakennushankkeen toteutuksen laadulle, joten uudet kriteerit on määriteltävä selvästi niin, että ne tulee täyttää kaikissa Terve talo -periaatteella toteutettavissa kohteissa.

Paras vaikutusmahdollisuus hankkeen ja jopa valmiin rakennuksen kustannuksiin ja laatuun on aivan hankkeen alussa. Hankesuunnittelussa määritellään tavoitteet paitsi suunnittelulle myös rakentamiselle ja kiinteistönpidolle. Ehdotussuunnittelun avulla valitaan paras mahdollinen suunnitteluratkaisu.

Rakentamisen valmisteluvaiheessa tehdään tilaajan sekä urakoitsijan väliset sopimukset lopputuloksen laadusta eli valmisteluvaiheen asiakirjoilla varmistetaan, että lopputulos vastaa alkuperäisiä tavoitteita. Vastaavasti kiinteistönpidon laatu määritellään sitä koskevissa sopimuksissa ja sen vaatimat lähtötiedot kootaan käyttöönottovaiheessa. Käyttöönottovaiheeseen kuuluu vain murto-osa rakennuksen käyttöiästä ja koko elinkaaren aikana muodostuvista kustannuksista, mutta kyseisessä vaiheessa tiedot rakennuksesta ja sen oikeaoppisesta käytöstä ja ylläpidosta siirretään lopullisen käyttäjän saataville.

Rakennushankkeen onnistumiseksi ja terveellisen rakennuksen ylläpitämiseksi tarvitaan kriteerejä rakentamis- ja kiinteistönpitovaiheisiin, mutta kustannuksiltaan ja ajankäytöltään pienemmät esivalmisteluvaiheet ovat aivan yhtä tärkeitä laadun muodostumisen kannalta. Hankkeen kaikissa vaiheissa on onnistuttava terveellisen rakennuksen aikaansaamiseksi ja juuri sitä varten rakennushankkeen kaikkiin eri vaiheisiin on tehty päivitetty Terveen talon toteutuksen kriteerit. Niitä noudattamalla pyritään varmistamaan, että kaikki yksinään yksinkertaiset, mutta kokonaisuutena mutkikkaat asiat otetaan huomioon aina tavoitteiden asettamisesta käyttöön päättämiseen asti.

Hyvästä kiinteistönpidosta huolimatta rakennuksen elinkaareen sisältyy tyypillisesti vähintään yksi perusteellista suunnittelua edellyttävä korjaushanke, joka sisältää huomioon otettavia erityispiirteitä uudisrakentamiseen verrattuna. Korjaushankkeen onnistuminen on yhtä tärkeää kuin uudenkin rakennuksen toimivuuden varmistaminen.

Uusien kriteerien julkaiseminen

Päivitetyt Terveen talon toteutuksen kriteerit tullaan julkaisemaan TTY:n Rakenteiden elinkaari- ja rakennustietokeskuksen internet-sivuilla osoitteessa www.tut.fi/elinkaari/ ja siellä tutkimukset-välilehdellä toukokuussa 2017.

Vuosituhanneen vaihteessa toteutettu Terve talo teknologiaohjelma poiki useita rinnakkaisia julkaisuja, mikä on saattanut aiheuttaa jopa hieman hämmennystä, ellei peräti pieniä ristiriitoja. Osittain tämän välttämiseksi AVATER-hankkeessa tehtyjä päivityksiä ei julkaista tämän raportin liitteenä, vaan tutkimusryhmän nettisivuilla, missä ne on helppo korvata uusilla versioilla, kun päivitystarpeita ilmenee. Sieltä ne on myös helppo poistaa, jos päivitystyö etenee aiempien RT-korttien korvaamiseen uusilla.

Tavoitteena oli julkaista kriteerit päivitettyinä RT-kortteina jo AVATER-hankkeen aikana ja Rakennustieto oli kiinnostunut yhteistyöstä tavoitteen saavuttamiseksi, mutta sopimusteknisistä syistä se ei ollut mahdollista. Kriteerien julkaiseminen päivitettyinä RT-kortteina on yhä tavoitteena. Ennen julkaisua kriteerit tulee miettiä tarkoin yhdessä Rakennustiedon kokoaman asiantuntijaryhmän, eli kortin kokoamiseen osoitetun toimikunnan kanssa. Verkostotaamisissa on kerätty kontakteja päivitystyöstä kiinnostuneisiin asiantuntijoihin.

Suosituks

Terveen talon toteutuksen kriteerejä suositellaan työkaluksi etenkin rakennuttajille. Kiinteistö- ja rakennusalaalla toimivat suunnittelutoimistot, urakointiyritykset, konsultit ja muut organisaatiot voivat sisällyttää kriteerit osaksi omia toimintaohjeitaan.

Tutkimustarpeet

Terveen talon toteutuksen kriteereihin tehdyt päivitykset tulee arvioida asiantuntijaryhmän kesken ja viedä sen jälkeen uusiksi Rakennustiedon ohjekorteiksi korvaamaan aiemmat vuosina 2003 ja 2004 julkaistut RT-ohjekortit.

Parempaa laatua tuottavien toimintamallien yleistymistä helpottamaan tulisi kehittää rakennushankkeen onnistumisen ja sisäilman laatu- ja sisäilmakäyttäjien mittarointia sekä selvittää niiden aikaansaama taloudellinen arvonlisäys kiinteistönomistajalle ja kosteusturvallisen rakentamisen terveydelliset hyödyt ja mahdolliset muut käytännön vaikutukset.

Lähteet ja tausta-aineistot

RT 07-10805 (2003). Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 07-10832 (2004). Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 07-10946 (2009). SISÄILMASTOLUOKITUS 2008 Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS.

3.2 Kosteudenhallintakoulutusta rakennustyöntekijöille

Tero Marttila, Jommi Suonketo ja Paavo Kero, TTY

Kaikki rakennusalaalla työskentelevät eivät voi erikoistua kosteusvauriokorjaamiseen, mutta kaikki rakennukset tulisi tehdä terveellisiksi ja rakennusfysikaalisesti toimiviksi. Tavoitteen saavuttamiseksi kaikilla rakennustyöntekijöillä tulisi olla perusosaaminen ja motivaatio työmaan kosteudenhallintaan. Keskeisimpiä asioita on tiedostaa erilaiset kosteuslähteet ja ymmärtää, minkälaiset edellytykset rakenteiden kuivumiselle vaaditaan. Yksipäiväisen koulutuksen tavoitteena on perehdyttää rakennustyöntekijät ymmärtämään, miksi huolellisuus ja yksityiskohtien oikeaoppinen toteutus ovat tärkeitä. Koulutuksilla pyritään myös parantamaan yleistä asennekulttuuria. Koulutusmateriaali keskittyy asioihin, joihin rakennustyöntekijä voi toiminnallaan vaikuttaa. Koulutuksessa annetaan esimerkkejä, minkälaisia seuraamuksia laiminlyönneillä saattaa olla.

3.2.1 Rakennustyöntekijöiden kosteudenhallintakoulutuksen tavoitteet

Työmaan kosteudenhallinnalla tarkoitetaan käytännössä sellaisia toimenpiteitä, joilla pyritään varmistamaan, ettei kosteusvaurioita syntyisi rakentamisen aikana tai sen seurauksena. Rakennustyöntekijöille suunnatun kosteudenhallintakoulutuksen tarkoituksena on perehdyttää kaikki toimintamalliin sitoutuneen työmaan toteutukseen osallistuvat henkilöt rakennusfysiikan perusteisiin ja kosteudenhallinnan hyviin käytäntöihin.

Tavoitteena on parantaa rakennustyömaan toteutusportaan asennetta, osaamista ja laatua. Koulutus on suunnattu kaikille työntekijöille, ei ainoastaan erikoisosaajille. Koulutuksella pyritään siihen, että kaikilla työntekijöillä rakennusapulaistista aliurakoitsijan asentajiin olisi äidinkielestään riippumatta perustiedot kosteuden siirtymisen fysikaalisista lainalaisuuksista sekä kosteudenhallinnan laiminlyöntien vaikutuksista ja seuraamuksista rakennuksen sisäilman laatuun ja tulevien käyttäjien terveyteen.

Kehityshankkeen pitkäjänteisen suunnitelmana on, että kosteudenhallintakoulutus yleistyisi rakennusalaalla työturvallisuuskortin laajuiseksi yleiseksi käytännöksi. AVATER-hankkeessa muodostettiin työryhmä, joka suunnitteli koulutuksen käytännön järjestelyjä sekä sisältöä vuonna 2016. Pilottikoulutukset järjestetään syksyllä 2017 kosteudenhallintakortti työryhmän toimesta.

3.2.2 Koulutuksen järjestäminen ja sisältö

Koulutus on suunniteltu hyvin samankaltaiseksi kuin työturvallisuuskorttikoulutus. Koulutus kestää yhden päivän (8 h), jonka päätteeksi järjestetään tentti. Tentin läpäisy oikeuttaa viisi vuotta voimassa olevaan pätevyYTEEN. Pätevyys aiotaan tulevaisuudessa linkittää valttikorttiin (veronumero.fi), joten uutta fyysistä korttia ei tarvitse hankkia.

Oppimateriaali muodostuu ainakin pilotointivaiheessa pdf-tiedostosta, jonka koulutuksen järjestäjä jakaa osallistujille haluamallaan tavalla joko sähköisenä tai tulostettuna. Koulutusmateriaalina käytetään mahdollisimman paljon muualla tuotettua aineistoa, jonka lisäksi käytetään myös AVATER-hankkeessa tuotettua aineistoa. Keskeisimpiä ulkopuolisia lähteitä ovat:

- BUILD UP Skills – motiva.fi (valmiiksi 5 kielellä)

- Kuivaketju10.fi

Pilottikoulutukset pidetään vain suomeksi, mutta myöhemmin koulutusta järjestetään myös muilla kielillä. Koulutuksessa käytetään mahdollisimman paljon kuvia. Kouluttajien kouluttamisesta ja heidän pätevyysrekisterin ylläpidosta tulee vastaamaan Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus (RATEKO). Pilottivaiheessa kouluttajat tulevat hanketta valmistelevan työryhmän sisältä.

Koulutuspäivä jakautuu neljään pääkokonaisuuteen, jotka ovat:

- Rakennusfysiikan perusteet
- Työmaan kosteudenhallinta
- Käytännöllisiä esimerkkejä (ml. esimerkiksi vaikutukset sisäilmaan)
- Tentti ja oikeiden vastausten läpikäyminen

Ennen rakennusfysiikkaan perehtymistä koulutettavat herätellään aiheeseen käytännönläheisellä ja ajankohtaisella avauksella, johon koulutuksen pitäjä voi käyttää koulutuspaketin mukana toimitettavia lehtileikkeisiin perustuvia kalvoja tai omakohtaista esimerkkiään. Motivointi, asenteen ja yhteisen päämäärän korostaminen on keskeistä koulutuksen kaikissa vaiheissa.

Rakennusfysiikkaa

Rakennusfysiikan yleistä teoriaa opetetaan mahdollisimman käytännönläheisesti ja siinä keskitytään peruskäsitteiden ymmärtämiseen. Rakennustyöntekijöille selitetään esimerkiksi, mikä ero on suhteellisella kosteudella (RH, %) ja absoluuttisella kosteudella (g). Kyllästyskosteus, kastepiste ja kondenssi ovat toisiinsa liittyviä käsitteitä, jotka opetetaan havainnollistavien kuvien avulla.

Keskeisimpiä asioita laadukkaan ja terveellisen rakennuksen tuottamiselle on ymmärtää, kuinka kosteus siirtyy ja miten siltä suojaudutaan. Opetettavia kosteuden siirtymismuotoja ovat:

- Konvektio (ilmavirrat)
- Vesihöydyn diffuusio rakenteen läpi
- Kapilaarivirtaus (yleensä maaperästä)
- Paineenalainen & painovoimainen siirtyminen (vesivuodot)

(Vinha 2013)

Perusteorian ymmärtäminen auttaa rakennustyöntekijää käsittämään, miksi höyrynsulku-muovi on sijoitettava rakenteen lämpimälle puolelle ja asennus on toteutettava tiiviisti. Teorian opetuksella pyritään myös pääsemään eroon erilaisista kansankielisistä käsitteistä, kuten pullotalot.

Työmaan kosteudenhallinta ja esimerkit

Kosteudenhallinnalla estetään rakenteiden ei-toivottua kastumista niin valmiissa rakennuksessa kuin rakentamisen ajanakin. Yhtä tärkeää on ymmärtää, millaiset olosuhteet kuivumiseen tarvitaan. Kuivuminen noudattaa samoja kosteuden siirtymismuotoja kuin kastuminenkin, joten koulutuspäivän aamuna opetettu teoria auttaa ymmärtämään myös kuivumisolosuhteiden edellytyksiä.

Työmaan kosteudenhallintaa opetetaan hyvin käytännönläheisesti. Esimerkiksi rakennusmateriaalien säilyttämisestä ohjeistetaan, että ne eivät saa kastua välivarastoinnin aikana eivätkä ne myöskään saa haitata rakenteiden kuivumista esimerkiksi paikallavaletun välipohjan päällä.

Käytännössä kosteudenhallinnan yksinkertaisimpia mutta keskeisimpiä asioita on sääsuojaus. Jokaisen rakennustyöntekijän tulee ymmärtää esimerkiksi, että rakennusvaiheen aikana ennen ovien ja ikkunoiden asentamista kaikki niille jätetyt aukot on suojattava sateelta ja lumelta. Kosteudenhallintaan liittyvien toimenpiteiden tärkeyttä korostetaan esittämällä esimerkkejä siitä, miten vähäisiltäkin tuntuvat laiminlyönnit saattavat vaikuttaa hankkeen kustannuksiin ja tulevien käyttäjien terveyteen myöhemmin.

Esimerkkien avulla rakennustyöntekijät halutaan saada ajattelemaan, kuinka he voivat omalla toiminnallaan vaikuttaa siihen, minkälaisia suoria seuraamuksia heidän tekemällään työllä saattaa olla rakennuksen rakennusfysikaaliseen toimivuuteen tai jopa konkreettisia vaikutuksia mikrobivaurioiden syntyyn. Kuvitteellisten esimerkkien lisäksi kouluttajat voivat esittää todellisia case-esimerkkejä omista kokemuksistaan, kunhan niihin on saatu lupa ja ne ovat asiallisia eivätkä loukkaa ketään.

3.3.3 Yhteenveto, suositukset ja tutkimustarpeet

Pyrkimyksenä on, että koulutuksen toimintamalli pilotoidaan, pilottikohteista kerätty kokemus ja tulokset julkaistaan, minkä jälkeen toimintamalli otetaan yleiseen käyttöön. Yleistyminen edellyttää, että tilaajat vaativat koulutuksen järjestämistä ja hyväksyvät, että urakoitsija ottaa koulutuspäivän johdosta menetetyn työajan huomioon urakkatarjouksissaan. Pätevyys on voimassa viisi vuotta, joten toimintamallin yleistyttyä kaikkia työntekijöitä ei enää tarvitse kouluttaa kerralla. Kosteudenhallinnan laadunvarmistukseen tehty konkreettinen satsaus tuottaa lisäarvoa hankkeen kaikille osapuolille. Yhdenkin virheen välttäminen voi säästää koko henkilöstön kouluttamiseen käytetyn rahasumman ja ennaltaehkäistä tulevia käyttäjiä terveyshaitoilta.

Eräs keskeisempiä haasteita on varmistaa, että kaikki rakennustyömaalla työskentelevät mukaan lukien aliurakoitsijoiden työntekijät osallistuvat koulutukseen. Toimintamalli olisi siksi saatava yhtä yleiseksi kuin työturvallisuuskortin suorittaminen on. Pilottityömailla hyväksytään, että kaikkia työntekijöitä ei saada koulutettua, koska koulutusten järjestämiseen on käytettävissä vain rajallinen määrä resursseja eikä pilotointiin osallistuvista hankkeista veloiteta kouluttajan palkkiota. Jatkossa koulutuksen tilaajan tulee maksaa kouluttajalle palkkio koulutuksen pitämisestä tai hankkia koulutuspätevyys jollekin oman henkilöstön jäsenelle.

Suosituks

- Rakennushankkeiden tilaajia kehoitetaan ottamaan toimintamalli käyttöönsä. Tilaajien tulee liittää tarjouspyyntöasiakirjoihin vaatimus, että kaikki työmaan työntekijät suorittavat kosteudenhallintakoulutuksen.
- Koulutusta suositellaan osaksi rakennustyöntekijöiden sekä muiden rakennustyömaalle sijoittuvien toimijoiden peruskoulutusta.

Tutkimustarpeet

- Koulutuksen vaikuttavuutta ja koulutustilaisuuksista kerättävää palautetta tulee analysoida ja tarvittaessa on tehtävä muutoksia koulutuspaketin sisältöön.
- Tulevaisuudessa on selvitettävä tarpeita ja mahdollisuuksia koulutuksen laajentamisesta myös muiden rakentamisen ja kiinteistönpidon osapuolien perus- ja jatkokoulutukseen.
 - Ainakin arkkitehteille, rakennuttajille ja huoltohenkilöstölle olisi tarpeellista yksilöidä rakennustyöntekijöiden koulutusmateriaalista poikkeavia koulutuspaketteja, mutta samat perusteet tulisi opettaa kaikille.

Lähteet ja tausta-aineistot

BUILD UP Skills Finland – lisää energiaosaamista rakennustyömaille. <https://www.motiva.fi/buildupskills>

Kuivaketju10 rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli. <http://kuivaketju10.fi>

Rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessi. <http://kosteudenhallinta.fi>

Vinha, J (2009). Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakentajan kalenteri 2009. Rakennustieto.

3.3 Korjausten jälkeisen siivouksen vaikutus

Ulla Haverinen-Shaughnessy, Mari Turunen ja Anne Hyvärinen, THL

Tavoitteena oli selvittää, noudatetaanko annettuja ohjeita rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle kosteus- ja homevauriokohteiden korjausten jälkeen sekä miten tehdyt toimenpiteet ja niiden käyttämättä jättäminen ovat vaikuttaneet erityisesti koettuihin oireisiin, mutta myös altistumistasoihin. Työ tehtiin kokoamalla tieto neljällä tavalla: 1) Kirjallisuuskatsaus olemassa olevasta ohjeistuksesta ja tehdyistä tutkimuksista, 2) THL:n HOTES-aineiston tulosten analysoiminen tässä valossa, 3) Kokemusten kokoaminen verkostotapaamisessa ja 4) Kysely kunnille ohjeiden käytöstä ja käyttäjäkokemuksista koulukohteiden korjausten jälkeen.

3.3.1 Kirjallisuuskatsaus olemassa olevasta ohjeistuksesta ja tehdyistä tutkimuksista

Ulla Haverinen-Shaughnessy, THL

Aiheesta tehty tarkempi katsaus on liitteessä 1.

Suomessa käytetyt ohjeet rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle

Korjausten jälkeistä siivousta on käsitelty ohjeissa ”Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje” (Hometalkoot 2016), ”Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen” (Työterveyslaitos 2011, päivitetty ohje Työterveyslaitos 2016) sekä ”Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa” (Hometalkoot 2013). Tässä keskitytään erityisesti siivoukseen.

Homevauriokorjausten jälkeinen siivous on tärkeä osa ongelman ratkaisua

Homevaurioituneissa rakennuksissa sisäilmaan kulkeutuu mikrobeja ja niiden aineenvaihduntatuotteita, joista osa koetaan hajuina. Rakenteiden purkamisen ja korjaamisen aikana mikrobin määrä sisäilmassa kasvaa merkittävästi. Vapautuva mikrobipöly ja homeenhaju tarttuvat kaikille mahdollisille pinoille ja kaasumaiset yhdisteet imeytyvät huokosiin materiaaleihin, mistä voi aiheutua tilojen käyttäjille terveyshaittoja. Jos mahdollista, homevaurioiden purku- ja puhdistustyöt tehdään kerralla koko työmaan laajuisesti ennen varsinaisen korjausrakentamisen aloittamista, mikä helpottaa epäpuhtauksien hallintaa työmaalla ja parantaa korjaustyön aikaisia työskentelyolosuhteita. Pölyn leviämisen estäminen korjattavasta tilasta ympäröiviin tiloihin vähentää korjausten jälkeisen siivouksen tarvetta.

Korjausten jälkeen tehtävän siivouksen ja irtaimiston puhdistuksen tavoitteena on pienentää terveyshaittojen esiintymisen todennäköisyyttä korjatuissa tiloissa. Korjausten lopettamisen jälkeen tehdään normaali rakennussiivous. Tämän jälkeen tehdään tarvittaessa ilmanvaihtolaitteiden ja kanavien puhdistus ja vaihdetaan ilmanvaihtokoneen suodattimet, mikäli niissä on ollut mikrobikasvua, niihin on päässyt homepölyä tai edellisestä puhdistuksesta on kulunut yli viisi vuotta. Siivouksen ja ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen ajoitus on sovittava keskenään ylimääräisen työn välttämiseksi.

Pölyttömäksi siivous suoritetaan varsinaisen rakennussiivouksen jälkeen. Siivouksessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muissakin perusteellisissa siivouksissa. Erona on siivoajan

suojaus hengityksensuojaimella ja suojavaatteilla sekä HEPA-suodattimilla varustettujen pölynimureiden käyttö. Pölyttömäksi siivouksen jälkeen käynnistetään tilojen ilmanvaihto. Jotta ilmassa oleva korjausten aikainen pöly saadaan mahdollisimman tehokkaasti pois, ylläpidetään rakennuksessa korotettua siivoustasoa 1-2 kk ajan. Oikein toteutettu siivous helpottaa ja nopeuttaa tilojen käyttöönottoa ja tilanteen palaamista normaaliksi (Työterveyslaitos 2016).

Irtaimiston puhdistamisen periaatteet (Työterveyslaitos 2016)

- Irtaimisto siirretään pois homevaurioituneista tiloista jo ennen korjausten aloittamista.
 - Lajitellaan tarpeellisuuden ja puhdistettavuuden mukaan.
- Selvästi homeelle haisevat tavarat ja sellaiset, joissa on homepilkkuja tai pintahometta, esimerkiksi verhot, pehmustetut tuolit ja sohvat uusitaan.
- Mikäli ei ole hometta tai selvää hajua, riittää yleensä perusteellinen puhdistus.
- Mikäli irtaimistosta tulee oireita puhdistamisen jälkeen, ne suositellaan uusimaan.
- Tarvittaessa tehdään esipuhdistus jo kohteessa: imurointi HEPA-suodattimella varustetulla imurilla, tamppaus.
- Puhdistamisalue on eristettävä muista tiloista (väliaikaisilla osastoivilla suojaseinillä).
 - koneellinen IV → alipaineinen
 - ilma suodattimella varustetun puhaltimen kautta ulos.
- Puhdistettu irtaimisto siirretään heti puhtaisiin, vauriottomiin tiloihin.
- Puhdistustila siivotaan puhdistettavien irtaimistoerien välillä.
- Kovista pinnoista homepölyn puhdistaminen on helpompaa kuin pehmeistä pinnoista, joihin homeen hajukin tarttuu vahvemmin.
- Tekstiilien, pehmeiden pintojen, elektronisten ja ATK-laitteiden sekä arkistomateriaalien puhdistamiselle on erilliset ohjeet.

Kansainväliset ohjeet (ANSI/IIIRC S520-2015 standardi, EPA:n ohje v. 2010 ja New York Cityn ohje)

Yhdysvaltalaisissa ohjeissa suositellaan pääsääntöisesti materiaalien HEPA-imurointia, puhdistamista kosteapyyhinnällä, vedellä ja saippualla tai puhdistusaineella. Kontaminoituneet, huokoiset ja ei-puhdistettavat materiaalit suositellaan poistettavaksi. Kaikissa ohjeissa suositellaan välttämään biosidien ja homeenestoaineiden käyttöä. Niiden käyttöä tulee harkita vain erikoistapauksissa. Tällöin käytön tulee perustua asiantuntijan arvioon ja niiden käyttöä koskevia lakeja ja määräyksiä tulee noudattaa. On huomattava, että homeenestoaineiden käyttö voi vaikeuttaa jälkitarkastusta.

Irtaimiston puhdistamiseen suositellaan käytettävän tarkoituksenmukaisia menetelmiä, kuten HEPA-imurointi, ilmapuhallus (ulkona tai erillisessä ilmastoidussa tilassa), veden avulla (painepesua tulee käyttää rajoitetusti esim. ulkona, kun lian leviämisestä ei ole haittaa), lian mekaaninen poisto (leviäminen huomioitava). Huokoiset materiaalit, joissa esiintyy mikrobikasvua, eivät ole yleensä puhdistettavissa. Irtaimisto, jossa ei ole kasvua, mutta joissa on homepölyä, voidaan useimmiten puhdistaa käyttäen soveltuvia menetelmiä, joista tyypillisimpiä

ovat HEPA-imurointi ja pehmeä harjaus. Ilmapuhallusta voi harkita, jos on mahdollista käyttää erillistä työskentelytilaa suojauksineen. Puhdistuksen tulee alkaa ja loppua HEPA-imurointiin. Kovat materiaalit voidaan useimmiten puhdistaa.

Suomessa laaditut ohjeet ovat selvästi yksityiskohtaisempia verrattuna yhdysvaltalaisiin ohjeisiin. Monista muista maista ei välttämättä löydy ohjeistusta kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeisen siivouksen toteuttamiselle lainkaan.

3.3.2 HOTES-aineiston tulokset liittyen siivoustapoihin

Homeloukku ja Terveys (HOTES) on THL:n ja Hengitysliiton yhteishanke, jossa on tutkittu mikrobialtistusta vakavasti kosteusvaurioituneissa omakotitaloissa. Hankkeessa on tutkittu asukkaiden altistumista ja terveydentilaa sekä ennen kosteusvaurioiden korjauksia että niiden jälkeen. Hankkeessa asukkailla kysyttiin myös kysymyksiä liittyen korjausten jälkeiseen siivoukseen.

Hankkeeseen osallistui 44 perhettä, joista 24 vastasi siivouskysymyksiin. Noin 20 % perheitä kertoi tehneensä kodin korjausten jälkeisen siivouksen ns. Hometalkoiden siivousohjeen mukaisesti (Työterveyslaitos 2011). Vain 2 perhettä raportoi, että heidän kodissaan ei tehty lainkaan siivousta korjausten jälkeen. Noin 16 % perheistä ilmoitti tehostaneensa siivousta. Loput vastanneista ilmoitti, että koti on siivottu, mutta ei ole tiedossa millä tavalla.

Lähes 70 % perheistä raportoi, että he olivat joutuneet hävittämään saastunutta irtaimistoa kosteus- ja homevaurion ja/tai korjaustöiden vuoksi. Yksikään perheistä ei ottanut irtaimistoa puhdistamattomana takaisin käyttöön korjausten jälkeen tai muutettuaan uuteen asuntoon. Lähes 80 % perheistä ilmoitti puhdistaneensa irtaimiston tavanomaisilla puhdistustoimilla ja 33 % perheistä ilmoitti käyttäneensä biosidistä pesuainetta. Ainostaan yksi perhe raportoi käyttäneensä otsonointia irtaimiston puhdistamiseen.

3.3.3 Tiedon kokoaminen eri sidosryhmiltä ja verkostotapaamisessa

Aiheesta järjestettiin yksi erillinen verkostotapaaminen, jossa paikalla oli yhteensä 20 toimijaa edustaen alan yrityksiä, Asumisterveysliittoa, Hengitysliittoa, Työterveyslaitosta ja Senaatti-kiinteistöä. Lisäksi aiheita käsiteltiin koko projektia koskevassa verkostotapaamisessa, joka kokosi paikalle yli 100 henkeä.

Työterveyslaitoksen siivousohje (Työterveyslaitos 2016) on varsin yleisesti käytössä. Se koetaan toimivan hyvin nykyiselläänkin - 64 % verkostotapaamisen äänestyskseen osallistuneista oli tätä mieltä. Samaan aikaan lähes puolet äänestyskseen osallistujista (47 %) piti sitä liian laajana. Tämä voi johtaa siihen, että ohje jää käytännössä joiltakin osin noudattamatta. Ohje on tarkoitettu kohteisiin, joissa on ollut merkittäviä ja laajoja kosteus- ja homevaurioita. Tarvitaan myös ohjeistusta siihen, miten toimitaan lievemmissä tapauksissa. Lisäksi tarvitaan siivousohjeistusta muiden sisäilmaongelmien (pölyt ja VOC) korjausten jälkeiselle tilanteelle. Mineraalikuiduille on olemassa siivousohjeet Terveyslaitoksen verkkosivuilla. Tapaamisessa esitettiin myös, että laadittaisiin erillinen ohje korjausten aikaiselle siivoukselle. Ns. Hometalkoiden ohjeen (Työterveyslaitos 2011) lisäksi tarvitaan erillinen siivousohje yksityisasunnoille (87 % verkostotapaamisen äänestyskseen osallistuneista oli tätä mieltä). Myös irtaimiston poisheittäminen periaatteet vaativat täsmentämistä (57 % verkostotapaamisessa äänestäneistä oli tätä mieltä).

Korjausten jälkeisiä siivouksia tilaavilla taloyhtiöillä ja isännöitsijöillä on paljon tietopuutteita, joten usein palvelua tarjoava yritys määrittelee puhdistuksen tason. Valitettavan usein raha

ratkaisee siivousyrityksen valinnan ja näin ollen korjausten jälkeisen siivouksen vaatimukset eivät aina täyty. Myös yksityishenkilöt ovat epätietoisia, kuinka tulisi toimia. Osa heistä kuluttaa paljon rahaa erilaisiin mittauksiin, eikä heillä ole tietoa eikä mahdollisesti myöskään varallisuutta toteuttaa kunnollisia korjauksia ja siivousta. Tarvitaan lisää ohjeistusta siitä, kuka vastaa ja kenen tulee suorittaa asunnon ja sen irtaimiston puhdistamisesta. Yhtenä merkittävänä käytännön ongelmana pidettiin, että kaikki yritykset eivät halua tee homeettomaksi siivousta yksityisasiakkaille, koska eivät luota heidän maksukykyynsä. Tämä voi johtaa siihen, että kodeissa tehtävät siivoukset eivät ole asianmukaisia ja laadukkaita. Kokemusten mukaan oireilu pääsääntöisesti loppuu, kun korjaukset ja siivoukset on tehty ohjeiden mukaisesti, mutta osalla oireilu saattaa jatkua tiloihin palatessa.

Asumisterveysliitto AsTe ry:n ohjeet irtaimiston puhdistamiselle

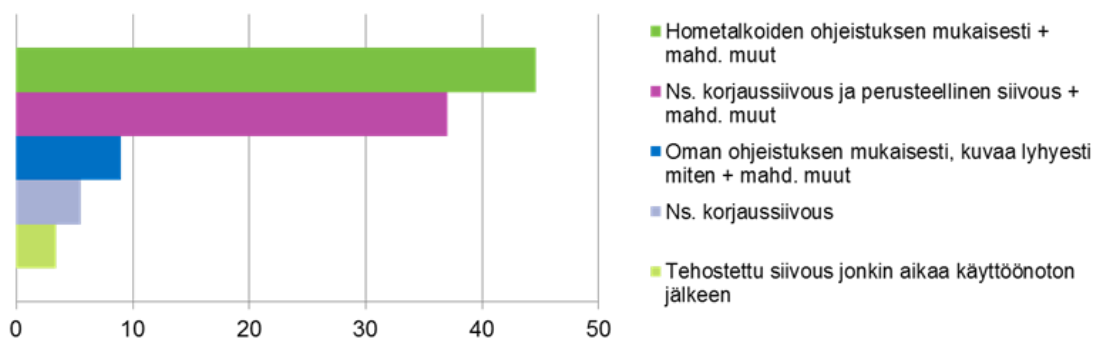
AsTe ry:n irtaimiston puhdistusohjeet noudattavat pääsääntöisesti Työterveyslaitoksen ohjeistusta (kohta 3.3.1). Yhdistys suosittelee tekstiilien normaalin pesun (mahdollisimman kuuma lämpötila) lisäksi käyttämään kuivausrumpua ja silittämään tekstiilit. Haju lähtee paremmin pois luonnonmateriaaleista kuin keinokuiduista. Kun homehtuneita tekstiilejä viedään pesulaan, tämä on kerrottava pesulassa. Paperit, kirjat, tms. suositellaan varastoivan muualle kuin asuintiloihin. Lasten kovat lelut, kuten legot, voi pestä astianpesukoneessa. Tavarat suositellaan tuotavan yksitellen huoneistoon, jolloin voi havaita, mistä tavarasta tulee vielä oireita. Jos ko. tavara aiheuttaa oireita, se suositellaan hävitettävän.

3.3.4 Kysely kunnille

THL teki vuonna 2015 valtakunnallisen kunnille suunnatun kyselyn koskien koulujen sisäilmaongelmien hallintaa (osio 2.2). Kyselyyn vastasi 52 % kunnista. Kyselyyn liitettiin myös muutamia kysymyksiä liittyen korjausten jälkeiseen siivoukseen. Kysymykset koskivat korjausten jälkeistä siivoustapaa, irtaimiston puhdistamistapaa ja oireilun yleisyyttä korjausten jälkeen.

Lähes 45 % kunnista (n=146) ilmoitti noudattavansa korjauskohteiden siivouksessa ns. Homeetalkoiden siivousohjetta (Työterveyslaitos 2011). Vajaat 40 % kunnista vastasi, että kohteissa tehtiin ns. rakennus/ korjaussiivous ja sen jälkeen perusteellinen siivous. Vain noin 5 % kunnista ilmoitti, että kohteissa tehtiin vain korjausten jälkeinen siivous.

Korjauskohteiden siivous

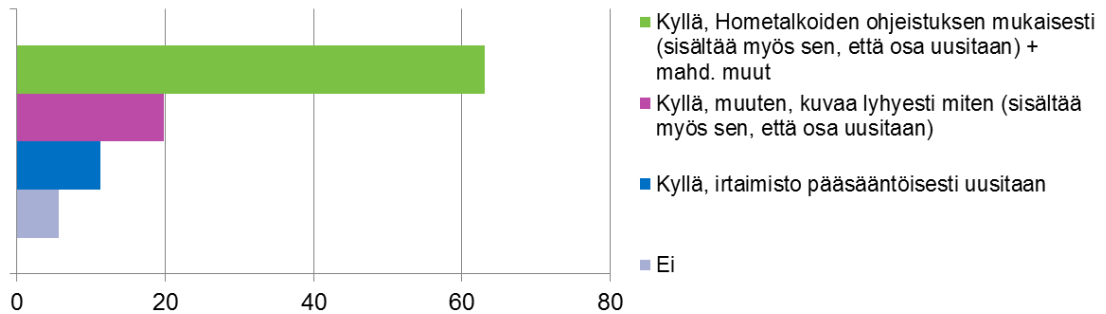


Kuva 11. Miten korjauskohteet siivotaan korjausten valmistuttua? Kuvan pylväät vastaavat prosenttiosuutta kaikista vastauksista. Vastanneiden kuntien määrä oli 146.

Lähes 65 % kunnista puhdistaa homekorjauskohteiden irtaimiston noudattaen ns. Homeetalkoiden ohjeistusta (Työterveyslaitos 2011). Tämä sisältää myös sen, että eo. ohjeistuksen mukaisesti osa irtaimistosta uusitaan. Noin 10 % kunnista ilmoittaa pääsääntöisesti uusivan-

sa korjauskohteissa olleen irtaimiston. Vain vajaa 5 % kunnista ilmoittaa, että irtaimistoa ei puhdisteta ennen kohteeseen paluuta.

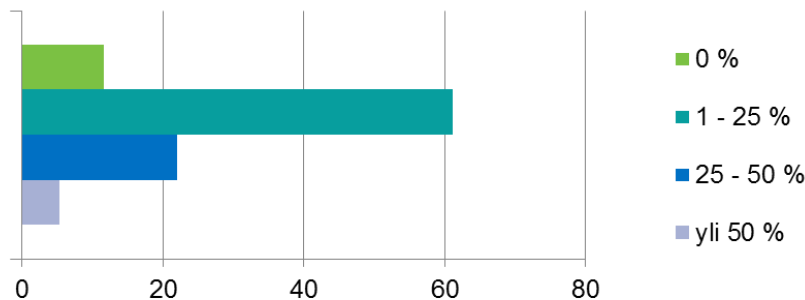
Irtaimiston puhdistus



Kuva 12. Puhdistetaanko irtaimisto yleensä korjausten jälkeen ennen palaamista kohteeseen? Kuvan pylvää vastaavat prosenttiosuutta kaikista vastauksista. Vastanneiden kuntien määrä oli 141.

Noin 10 % kunnista raportoi, että ihmiset eivät koe enää oireita sen jälkeen, kun rakennus on korjattu, kun taas yli 60 % kunnista ilmoittaa oireiden jatkuvan alle 25 % kohteissa. Yli 20 % kunnista ilmoittaa oireiden jatkuvan 25-50 % kohteissa. Noin 4 % kunnista raportoi oireiden jatkuvan yli puolessa kohteista korjausten jälkeen.

Oireiden jatkuminen korjausten jälkeen



Kuva 13. Kuinka suuressa osassa kohteista oireet jatkuvat, kun niihin palataan korjausten jälkeen. Kuvan pylvää vastaavat prosenttiosuutta kaikista vastauksista. Vastanneiden kuntien määrä oli 95.

3.3.5 Johtopäätökset ja suositukset

Työterveyslaitoksen siivousohjeistus on melko yleisesti käytössä erityisesti julkisissa kiinteistöissä. Kosteus- ja homevauriokorjausten osana toteutettu siivous on korjaushankkeen viimeinen vaihe, joka tehdään varsinaisen rakennussiivouksen jälkeen. Irtaimiston puhdistus on tärkeä osa siivousta. Siivouksessa noudatetaan pääosin samoja periaatteita kuin muissakin perusteellisissa siivouksissa, mutta ohjeessa painotetaan erityisesti pölyn leviämisen estämistä, siivousjärjestystä, aikataulua mm. ilmanvaihdon käynnistämisen suhteen, irtaimiston puhdistamisen periaatteita ja työntekijöiden suojautumista. Desinfointiaineiden käyttöä ei suositella. Niiden käyttöä voidaan harkita erityistilanteissa, kuten viemäri vahinkojen yhteydessä.

Kyselyn mukaan oireilu vähenee pääsääntöisesti korjausten jälkeen: 60 % kunnista raportoi, että 1-25 % kohteissa koetaan oireita korjausten jälkeen. Hyvin ja oikein toteutettu siivous edesauttaa sitä, että tilojen käyttäjät voivat palata korjattuihin tiloihin.

Yhdysvaltalaiset ohjeet korjausten jälkeiselle siivoukselle ja irtaimiston puhdistamiselle eivät ole yhtä yksityiskohtaiset kuin suomalaiset ohjeet. Kaikissa ohjeissa linjataan, että desinfiointiaineiden käyttöä ei suositella.

Suositukset

Nykyohjeistus on suunnattu erityisesti julkisille rakennuksille ja tilanteisiin, joissa vauriot ovat laajoja tai muuten vakavia. Olemassa olevan ohjeistuksen lisäksi **tarvitaan lisää ohjeistusta** kosteus- ja homevaurioiden siivoukseen liittyen:

- asuntokohteille sekä isännöitsijöille ja taloyhtiöille
 - tarvitaan ohjeistusta myös siihen, kuka vastaa asunnon siivouksesta ja irtaimiston puhdistuksesta.
- lievemmillä kosteus- ja homevauriotapauksille ja muille sisäilmaongelmille
- irtaimiston uusimisen periaatteita tulee täsmentää.

Tulisi varmistaa, että myös yksityishenkilöille olisi tarjolla asianmukaista ja laadukasta siivouspalvelua.

Tutkimustarpeet

Tarvitaan tutkimusta siivouksen ja siivouksemikaalien vaikutuksesta altistumiseen ja ihmisten oireiluun.

Lähteet ja tausta-aineistot

Hometalkoot 2013. Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa. <http://www.hometalkoot.fi/file/15838.pdf>

Hometalkoot 2016. Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje. <http://www.hometalkoot.fi/file/15921.pdf>

Työterveyslaitos 2011. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. <http://www.hometalkoot.fi/file/15813.pdf>

Työterveyslaitos 2016. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. <http://www.hometalkoot.fi/file/15862.pdf>

4. OSA C. KÄYTTÖÄ TURVAAVAT TOIMENPITEET KOSTEUSVAURION HALLINNASSA

4.1 Ilmanpuhdistimien käyttö

Hanna Leppänen, Mari Turunen ja Anne Hyvärinen, THL

Hankkeessa selvitettiin, miten rakennukseen sijoitettavat erilliset ilmanpuhdistimet vaikuttavat sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin ja koettuihin terveyshaittoihin. Työssä keskitytään erityisesti kosteus- ja homevaurioista johtuviin sisäilmaongelmiin.

Työ toteutettiin keräämällä tieto viidellä tavalla: 1) kirjallisuuskatsaus tehdyistä tutkimuksista, 2) kyselyllä kunnilta niiden käytön yleisyydestä ja toimivuudesta koettujen haittojen vähentämiseen koulukohteissa, 3) kokoamalla käyttäjäkokemusta suurimmilta kunnilta, joissa ilmanpuhdistimia on käytetty, 4) kokoamalla tieto eniten käytettyjen laitteistojen teknisestä suoriutumisesta ja 5) verkostotapaamisella, jossa mukana muun muassa alan toimijoiden ja yhdistysten edustajia. Lisäksi hankkeessa on hyödynnetty THL:n kenttätutkimushanketta ilmanpuhdistimien tehosta kosteusvauriokohteissa (PUHHO).

4.1.1 Yhteenveto kirjallisuuskatsauksesta

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää:

- Kuinka tehokkaita ilmanpuhdistimet ovat alentamaan erilaisten sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksia?
- Voidaanko ilmanpuhdistimien avulla vähentämään koettuja terveyshaittoja?
- Eri ilmanpuhdistintekniikoiden mahdolliset haittavaikutukset.

Kirjallisuushausta saatiin tulokseksi yhteensä 1300 artikkelia, joista kirjallisuuskatsauksessa käytettiin 63 artikkelia, jotka parhaiten vastasivat asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Kirjallisuuskatsaus on esitetty liitteessä 2.

Kirjallisuuden mukaan ilmanpuhdistimissa käytetään useita eri tekniikoita:

- mekaaninen puhdistus (hiukkasmaiset epäpuhtaudet sidotaan suodattimeen)
- adsorptio (adsorbenttina toimiva aine sitoo molekyyliä pinnalleen)
- sähköinen suodatus (hiukkaset ionisoidaan ja ohjataan sähköiseen kenttään)
- UV-säteilytys (läpäisee mikrobin solukalvon)
- fotokatalyyttinen oksidaatio (reaktiossa syntyvät happiradikaalit hajottavat kaasumaisia epäpuhtauksia)
- plasmasuodatus (hiukkaset sidotaan elektrostaattisen ilmiön avulla, tuottaa UV-säteilyä, vapaita radikaaleja ja hapettimia)

Mekaanisella suodatuksella sisäilmasta voidaan poistaa hiukkasmaisia epäpuhtauksia kuten siitepölyä, huonepölyä, homeitiötä, bakteereita, eläinten hilsettä ja pienhiukkasia. Suodattimet tulee vaihtaa riittävän usein kontaminaation ehkäisemiseksi. Adsorptiolla (kemisorptio ja fysisorptio) voidaan puolestaan poistaa tehokkaasti pienhiukkasia, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), formaldehydiä, O₃, NO₂, SO₂ ja H₂S. On huomioitava, että adsorboituneet VOC-yhdisteet ja otsoni voivat muodostaa uusia sekundääriyhdisteitä tai adsorboituneet yhdisteet voivat emittoitua uudelleen. Tutkimusten mukaan sähköisellä suodatuksella pystytään vähentämään sisäilman pienhiukkasia tehokkaasti. Sitä käytettäessä voi kuitenkin syntyä varattuja partikkeleita ja uusia epäpuhtauksia, kuten otsonia ja ultrapieniä hiukkasia. Kirjallisuuden perusteella UV-säteilytys inaktivoi bakteereita, sieniä ja viruksia 50–100 % tehokkuudella. Säteilytyksen sivutuotteena voi syntyä otsonia. Fotokatalyyttisellä oksidaatiolla pystytään vähentämään sisäilman kaasumaisia epäpuhtauksia ja sen on todettu vähentävän ilmasta myös viruksia, bakteereita ja sieniä. Sivutuotteena syntyy uusia kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten formaldehydiä ja asetraldehydiä. Plasmasuodatusta käyttämällä voidaan sisäilmasta vähentää esimerkiksi BTEX-yhdisteitä (bentseeni, tolueeni, ksyleeni, etyylibentseeni), etanolia, formaldehydiä, sekä myös mikrobeja. Plasmasuodatus yhdistettynä fotokatalyyttiseen oksidaatioon poistaa tehokkaasti myös pienhiukkasia. Plasmasuodatuksessa syntyy sivutuotteina muun muassa typenoksideja ja otsonia.

Institute of Medicine (IOM, 2000) mukaan ilmanpuhdistimien käyttö voi auttaa vähentämään ilmassa olevia allergeeneja ja hiukkasia ja joissakin tapauksissa käyttö voi vähentää allergia- ja astmaoireita. Tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat kuitenkin puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille.

Tarvitaan lisää tutkimusta ilmanpuhdistimien tehokkuudesta vähentää erilaisia sisäilman epäpuhtauksia ja niistä aiheutuvia terveyshaittoja. Tutkimuksessa ja myös käytännössä on tärkeää huomioida eri ilmanpuhdistusmenetelmissä syntyvät terveydelle haitalliset yhdisteet.

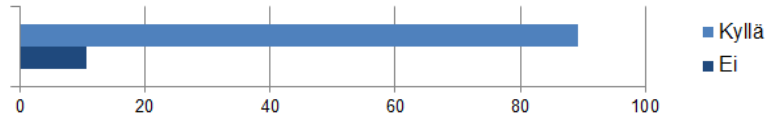
4.1.2 Ilmanpuhdistimien käytön yleisyys ja toimivuus koettujen haittojen vähentämiseen kuntien koulukohteissa

Hankkeessa selvitettiin kuntien toimintatapoja koulujen sisäilmaongelmien selvittämisessä ja toimenpiteiden kiireellisuuden arvioinnissa (Osio 2.2). Aiheesta tehtiin valtakunnallinen sähköinen kysely 295 kunnassa (Terveiden ja hyvinvoinnin laitos, Sosiaali- ja terveysministeriö ja Kuntaliitto). Kyselyssä selvitettiin myös ilmanpuhdistimien käytön yleisyyttä ja niiden toivuutta koettujen haittojen vähentämiseen koulukohteissa.

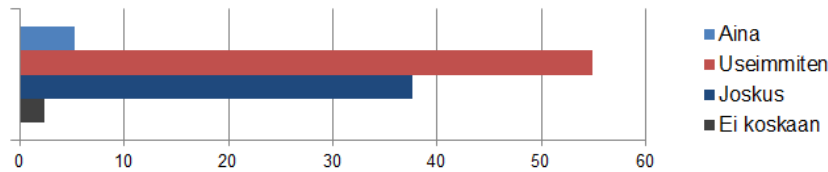
Kyselyn perusteella lähes 90 % vastanneista kunnista oli käyttänyt ilmanpuhdistimia ensiapuna tai tilanteissa, joissa korjaukset olivat viivästyneet. Noin 10 % vastanneista kunnista ei ollut käyttänyt ilmanpuhdistimia vastaavissa tilanteissa. Ilmanpuhdistimia käyttäneistä kunnista 5 % oli kokenut ilmanpuhdistimet hyödyllisiksi ”aina”, 55 % ”useimmiten” ja lähes 40 % ”joskus”. Ainoastaan 2 % vastanneista kunnista vastasi, että ilmanpuhdistimista ”ei koskaan” ollut koettu apua.

Ilmanpuhdistimien yleisyys ja koettu hyödyllisyys

Onko kunnassanne käytetty sisäilmapuhdistimia ensiaputoimenpiteenä tai mikäli korjaukset viivästyvät? (%) (N=149)



Jos vastasitte kyllä, onko ne koettu hyödyllisiksi? (%) (N=133)



Kuva 14. Ilmanpuhdistimien käytön yleisyys kunnissa sekä niiden koettu hyödyllisyys.

4.1.3 Käyttäjäkokemukset suurimmissa kunnissa

Hankkeessa tehtiin vielä toinen kysely, jossa selvitettiin ilmanpuhdistimien käyttäjäkokemuksia 15 Suomen suurimmalta kunnalta, jotka käyttävät ilmanpuhdistimia. Kyselyyn vastasi yhteensä seitsemän kuntaa. Tieto ilmanpuhdistimien käytöstä saatiin edellä mainitusta kyselystä koskien kuntien toimintatapoja koulujen sisäilmaongelmien selvittämisessä ja toimenpiteiden kiireellisuuden arvioinnissa.

Kyselystä kävi ilmi, että ilmanpuhdistimia oli käytössä 1-49 kappaletta useimmissa vastaanesta kunnista. Yli 200 ilmanpuhdistinta oli käytössä kahdessa kunnassa. Ilmanpuhdistimia käytettiin selvästi eniten väliaikaisratkaisuna tilanteessa, jossa odotettiin kosteusvauriokorjausta. Toiseksi eniten niitä käytettiin remonttityön aikana suojaamaan viereisiä tiloja. Moni kunta käytti ilmanpuhdistimia myös tilanteessa, jossa korjaustyöt oli tehty, mutta herkimmat yksilöt oireilivat vielä. Ilmanpuhdistimista koettiin olleen apua kosteus- ja homevauriokohteissa useimmiten tai joskus. Kuntien vastauksista kävi ilmi, että käyttäjiltä oli tullut usein positiivista palautetta ilmanpuhdistimista. Ns. lieveilmiönä raportoitiin tilanteista, joissa ilmanpuhdistimien sijoittaminen tiloihin, joissa oli raportoitu ongelmia, oli johtanut siihen, että käyttäjät olivat halunneet ilmanpuhdistimen myös sellaisiin tiloihin, joissa ei ollut aiemmin ilmennyt ongelmia. Ongelmalliseksi koettiin eri laitevalmistajien ilmanpuhdistimissa havaitut erot ja laitteiden suuret käyttökulut.

4.1.4 Eniten käytettyjen ilmanpuhdistimien tekninen suoriutuminen

Tieto eniten käytettyjen laitteistojen teknisestä suoriutumisesta kerättiin laitevalmistajien toimittamista testiraporteista (VTT), Helsingin Sanomien 2009 ja 2012 sekä TM Rakennusmaa-ilman 2012 tekemistä testeistä. Liitteenä olevassa taulukossa (Liite 3) on esitetty tiedot ilmanpuhdistimien teknisestä suoriutumisesta. On huomioitava, että testiraportteja pyydettiin yrityksiltä, joiden laitteita oli eniten käytössä suurimmissa kunnissa eli tietoa ei ole kaikista käytössä olevista laitteista. Lisäksi kaikki yritykset eivät antaneet lupaa testitulosten julkaisemiseen. Voidaan sanoa, että tarvitaan selkeä, käyttäjäystävällinen taulukko eri ilmanpuhdistimien teknisen suoriutumisen vertailemiseksi.

4.1.5 Verkostotapaamiset

Hankkeen aikana pidettiin kaksi verkostotapaamista, joissa oli alan toimijoiden ja yhdistysten edustajia. Ensimmäinen verkostotapaaminen pidettiin 14.3.2016, Kuntaliitossa, Helsingissä. Paikalla oli yhteensä 20 henkilöä. Toinen tapaaminen oli osa verkostotyöpajaa 15.6.2016, joka pidettiin Kuntaliitossa, Helsingissä. Paikalla oli noin 100 henkilöä. Verkostotapaamisissa keskusteltiin niistä teknisistä vaatimuksista, jotka tulisi ottaa huomioon ilmanpuhdistimia valittaessa. Mietittiin periaatteita ja käytännön ohjeita ilmanpuhdistimia käytettäessä tai niitä suositeltaessa. Pohdittiin myös, mitkä olisivat niitä tilanteita, joissa ilmanpuhdistimia tulisi käyttää tai suositella käytettäväksi sekä keskusteltiin ilmanpuhdistimien käyttäjäkokemuksista.

Tekniset vaatimukset ilmanpuhdistimille, joita käytetään ja suositellaan

Aimo Taipaleen (VTT) alustuksesta kävi ilmi, että ilmanpuhdistimen teho tulisi aina mitoittaa huoneen tilavuuden ja ilmanvaihdon tehokkuuden mukaan. Mikäli mahdollista, tavoiteltu pitoisuuden alenema tulisi määrittää kohteessa mitattujen epäpuhtauspitoisuuksien perusteella ottaen huomioon myös oireilun voimakkuus. Tarvittava puhtaan ilman tuotto riippuu sekä tilan koosta, ilmanvaihtuvuudesta että tavoitellusta pitoisuustason alenemisesta. Laitteen puhtaan ilman tuotto on puolestaan ilmavirran ja erotusasteen (kuinka tehokkaasti laite suodattaa hiukkasia) tulo, joten sekä ilmamäärä että suodattimen suodatustehokkuus vaikuttavat puhtaan ilman tuottoon saman verran.

Ilmanpuhdistimia valittaessa tulisikin kiinnittää huomiota taulukossa 3 esitettyihin seikkoihin.

Taulukko 3. Teknisiä ominaisuuksia, jotka tulisi huomioida ilmanpuhdistimia valitessa

mitä puhdistetaan (hiukkasia, kaasuja vai molempia)	ilmavirta
erotusaste	puhtaan ilman tuotto, CADR (clean air delivery rate)
yksittäisen epäpuhtauden poistaminen ei auta, mikäli tilassa on muita yhdisteitä, joita ilmanpuhdistin ei pysty poistamaan	tuottaako laite otsonia
tehonkulutus, lämpötilan nousu	terminen viihtyvyys, aiheuttaako laite vetoa
ääniteho, äänenpainetaso	miten varmistetaan, että laite pysyy käynnissä
hintasuhteutettuna puhdistettuun ilmatilaan	suodattimien vaihdettavuus, määrä eri karkeusasteille
laitteen huolto ja käyttövarmuus	mitat, laitteen paino, liikuteltavuus
kauko-ohjaus	takuu ostettaessa

Laitteiden sijoittelu koettiin erittäin tärkeäksi eli käyttäjää tulisi ohjeistaa niin, että sijoittelu on ja säilyy optimaalisena. Yhdistelmälaitteiden, joissa käytetään monta eri tekniikkaa, arviointi on hankalaa.

Verkostotyöpajassa esitettiinkin väittämä ”Ilmanpuhdistimen tulisi olla helposti vertailtavissa keskenään esim. yhteisen kriteeristön avulla”, johon 100 % vastanneista vastasi ”Kyllä”. Keskusteluista ja äänestystuloksesta kävi ilmi, että ilmanpuhdistimia harkittaessa tai hankittaessa kaivataan selkeää tietoa eri laitteiden teknisistä ominaisuuksista. Tiedon tulisi olla puolueetonta, helposti saatavilla ja vertailtavissa. Toiseen väittämään koskien teknisiä vaatimuksia:

"Ilmanpuhdistimista, joissa syntyy sivutuotteena otsonia, on koettu haittaa" 40 % vastasi "Kyllä", 40 % "Harvoin" ja 20 % "Ei". Keskustelujen perusteella osa ihmisistä ei halunnut hankkia ilmanpuhdistinta, joka tuottaa pientäkään (edes selvästi HTP-arvon alittavaa) määrää otsonia. Osa puolestaan ajatteli, että tilanteen tulisi olla avoin, eikä mitään tekniikkaa suljettaisi automaattisesti pois, koska yhdistelmälaitteella saavutettu hyöty voi olla suurempi kuin sen sivutuotteesta aiheutuva haitta. Tulisi muun muassa ottaa huomioon esimerkiksi yhdistelmälaitteet, jotka tuottavat otsonia, mutta samalla adsorboivat sitä.

Tilanteet, joissa ilmanpuhdistimia käytetään ja suositellaan

Käytön tarve tulisi aina määrittää tutkimuksin ja arvioiden tapahtuuko altistumista, jota voidaan vähentää ilmanpuhdistimilla.

Ilmanpuhdistimia **EI** tule koskaan käyttää:

- korjausten välttämiseksi
- korvaamaan puutteellista siivousta tai ilmanvaihtoa

Ilmanpuhdistimia voi käyttää **tilapäisenä** ratkaisuna, mutta tarve on arvioitava tapauskohtaisesti:

- korjauksia odottaessa
- selvitystöiden aikana
- ennen muuttoa pois tiloista
- remonttien aikana suojaamaan viereisiä tiloja

Ilmanpuhdistimista voi olla apua herkimmille yksilöille, jotka oireilevat vielä korjausten jälkeen sekä tiloissa, joissa on tavallista suurempi hajukuorma.

Ilmanpuhdistimien käytöstä esitettiin seuraava väittämä noin 100 verkostotyöpajaan osallistuvalla: "Ilmanpuhdistimia käytetään sisäilmaongelmaisissa kohteissa kun mm. odotetaan kohteen tarkempaa tutkimusta, korjausta tms.", johon enemmistö vastaajista eli 90 % vastasi "Kyllä, väliaikaisena ratkaisuna", kun taas 5 % vastasi "Kyllä, pysyvässä ratkaisuna" tai "Ei käytetä".

Periaatteet ja käytännön ohjeet ilmanpuhdistimia käytettäessä ja suositellessa

Ohjeistusta ilmanpuhdistimien käytöstä pidettiin tärkeänä. Kiinteistöpäälliköille tulisi antaa sisäinen ohjeistus ja kuvata ne tilanteet, joissa ilmanpuhdistimia voidaan käyttää. Myös käyttäjille tulisi järjestää koulutustilaisuuksia, joissa kerrotaan laitteen toimintaperiaate, sijoittaminen, käyttö ja huolto. Laitteen sijoitteluun tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja esteettömyys tulee aina varmistaa. Valmistajan ohjeita tulisi noudattaa sekä suodattimien vaihdossa että laitteen puhdistuksessa. Kuten edellä on todettu, ilmanpuhdistimien käytön tulisi olla pääsääntöisesti lyhyt ja tilapäinen ratkaisu.

Verkostotyöpajassa esitettiin väittämä: "Ilmanpuhdistimia vuokraavat tai myyvät yritykset määrittävät ilmanpuhdistimen tehon, määrän ja sijoittelun ja antavat opastuksen käytölle". Tähän 38 % vastaajista vastasi "Kyllä", 44 % "Kyllä, pääasiassa", 19 % "Harvoin" ja 0 % "Ei".

Kokemukset ilmanpuhdistimien käytöstä erityisesti kosteus- ja homevauriokohteissa

Keskustelujen perusteella ilmanpuhdistimien käytöllä on saatu ”ostettua lisää aikaa” korjaussuunnitteluun ja korjaukseen ilman toiminnan lopettamista ja mahdollisten väistötilojen hankintaa (kun osastointi ja alipaineistus kunnossa). Joissakin tapauksissa oireilu on lisääntynyt vääränlaisen sijoittelun johdosta. Ilmanpuhdistimissa on koettu myös olevan eroja.

Väittämään: ”Ilmanpuhdistimista on koettu olevan apua kosteus- ja homevauriokohteissa” enemmistö vastaajista, 77 % vastasi ”Kyllä”, 24 % ”Harvoin” ja 0 % ”Ei”.

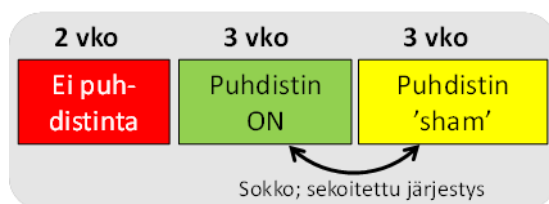
Keskustelussa nostettiin esille epäkohta, joka voi seurata siitä, että ilmanpuhdistimella saadaan oireet vähenemään. Tällöin ongelmat aiheuttanut vaurio voi laajentua ja pahentua ja rakennuksen korjaaminen ei enää ole kannattavaa. Vaurion korjaaminen ajoissa tulee kunnalle todennäköisesti halvemmaksi. Myös oikeanlainen siivous, tuloilman lisääminen, painerojen vähentäminen vaurioituneeseen rakenteeseen nähden sekä epäpuhtauslähteen tiivistäminen saattavat olla ilmanpuhdistimia parempia tapoja altistumisen vähentämiseksi. Näiden toimenpiteiden avulla voidaan myös laimentaa epäpuhtauksien pitoisuuksia sisäilmassa.

4.1.6 Ilmanpuhdistimien toimivuuden testaaminen ilmanlaadun parantamisessa kosteus- ja homevauriokohteissa (PUHHO) -projektin tuloksia

PUHHO-tutkimuksessa selvitettiin kolmen erityyppisen ilmanpuhdistimen vaikutuksia oppilaiden altistumiseen sisäilman mikrobeille, hiukkasille (PM10, PM2.5), mustalle hiilelle (BC) ja VOC-yhdisteille sekä tähän altistumiseen liittyviin hengitystie- tai muihin oireisiin.

Kuuden koulun yhteensä 18 luokassa tehtiin mittauksia kolmella puhdistimen tarkastelujaksolla (ei puhdistinta, normaalitoiminto ja sham-toiminto eli puhdistin kierrätti sisäilmaa, mutta ei sisältänyt suodattimia).

PUHHO-projektin ilmanpuhdistimien tarkastelujaksot



Kuva 15. Tarkastelujaksot luokissa. Puolessa luokista (9) sham-jakso oli ennen ON-jaksoa.

Tutkimuksessa käytettiin kolmea erityyppistä ilmanpuhdistinta (P1-P3), joista yksi oli Helsingin kouluissa yleisesti käytetty malli ja kaksi oli hiukkaserotuskyvyn testeissä tehokkaaksi todettua laitetta. Luokkaan sijoitettiin aina kaksi samaa laiteyksikköä eri puolille luokkaa ja ne säädettiin maltilliselle puhallusteholle (200 - 400 m³/h). Puhdistimissa P1 ja P3 oli karkea esisuodatin ja HEPA-suodatin, kun taas P2 perustui korkeajännitevaraajaan ja sähkösuodattukseen. Kaikissa laitteissa oli lisäksi aktiivihiilisuodatin. Sham-jakso toteutettiin P1 ja P3 -puhdistimissa poistamalla laitteesta HEPA-suodatin ja aktiivihiilisuodatin sekä P2:ssa poistamalla keräysjännite ja aktiivihiilisuodatin. Puhallusteho oli sama kuin normaalitoiminnon aikana.

Keskimääräinen PM2.5-pitoisuus luokissa pieneni selvästi (54 - 63 %) kaikkien puhdistinmallien normaalitoiminnolla (ON) verrattuna 'ei puhdistinta' -jaksoon. Myös sham-jaksolla mitat-

tiin hieman pienemmät pitoisuudet kuin 'ei puhdistinta' -jaksolla. Mustan hiilen (BC) alenema (43 – 63 %) oli hyvin samankaltainen kuin PM2.5:llä. PM10 -pitoisuudessa havaittiin pienempi (14 – 30 %) ja epäyhtenäinen alenema, ja vaikutus oli lähes sama ON- ja sham-jaksoilla. TVOC -pitoisuus pieneni myös ON-jaksolla (33 – 35 %), mutta sham-jaksolla ei juurikaan tullut muutosta 'ei puhdistinta' -jaksoon verrattuna. TVOC:n ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet olivat selvästi alle Asumisterveysasetuksen toimenpiderajojen.

Mikrobitasoissa oli merkittäviä eroja koulujen välillä, mutta keskimääräiset sisäilman pitoisuudet olivat melko matalia (PenAsp: 10 - 60 CE/m³). Ilmanäytteissä nähtiin puhdistimen ON- ja sham-jaksoilla pieni alenema suhteessa 'ei puhdistinta' -jaksoon, mutta laskeumapölynäytteissä ei vastaavaa muutosta havaittu.

Ylä- ja alahengitysteiden sekä muiden oireiden esiintyminen oli yleisesti ottaen melko pientä, mutta luokkien välillä esiintyi melko suuria eroja. Täysin oireettomia päiviä oli 'ei puhdistinta' -jaksolla 27–58 %. Ilmanpuhdistimien käyttö luokissa (ON-jakso) lisäsi oireettomien päivien määrää 49–78 %:iin. Sham-jaksolla havaittiin lähes yhtä suuri vaikutus oireiden raportointiin.

PM2.5:n ja BC:n osalta kaikki puhdistimet olivat suhteellisen tehokkaita, mutta suurimmalla ilman puhdistusteholla toimineen puhdistimen P3 tuottama pitoisuuksien alenema (63 %) oli hieman suurempi kuin kahdella muulla mallilla (43 – 58 %). PM10-pitoisuuteen vaikutus oli pienempi ja vaihtelevampi ja siinä puolestaan puhdistimet P1 ja P2 suoriutuivat hieman paremmin kuin puhdistin P3. P2:n hiukkastuloksissa erottuivat parhaiten ON- ja sham-jaksot. TVOC-pitoisuus aleni P1- ja P2-puhdistimilla keskimäärin noin kolmanneksella, kun taas puhdistimella P3 ei havaittu vaikutusta.

Mikrobien suhteen puhdistimien välillä ei ollut merkittäviä eroja. Oireettomien päivien esiintyvyydessä tuli pieniä eroja puhdistimien välille. Kaikkien puhdistimien käytöllä oireettomat päivät lisääntyivät, mutta P1- ja P3 -laitteilla ei tullut eroa ON- ja sham-toimintojen välillä. P2 -puhdistimella sen sijaan näkyi tilastollisesti merkitsevä muutos ylähengitystieoireissa ON- ja sham-toimintojen välillä.

PUHHO-projektin pohdintaa ja johtopäätökset

Useimpien epäpuhtauksien pitoisuudet olivat myös puhdistinten sham-jaksolla pienempiä kuin 'ei puhdistinta' -jaksolla. Tämä voi selittyä osittain ulkoilman pitoisuusvaihtelulla ja osittain luokkien toiminnasta johtuvalla sisälähteiden vaihtelulla. Puhdistimien tuottama ilman kierrätys sham-toiminnolla todennäköisesti paransi ilman sekoittumista luokissa ja sitä kautta tehosti rakennuksen ilmanvaihdon vaikutusta. Koneellisen tuloilman heittopituudet saattavat olla isoissa sisätiloissa riittämättömiä, jolloin ilman vaihtuvuus ei ole niin hyvä kuin se ilmavirtojen mitoituksen mukaan voisi olla. Näin ollen puhdistimien sham-toiminnollakin saattoi olla todellista pitoisuuksia alentavaa vaikutusta.

Ilmanpuhdistimien käyttö luokissa (ON-jakso) lisäsi oireettomien päivien määrää 27–58 %:sta 49–78 %:iin. Sham-jaksolla havaittiin lähes yhtä suuri vaikutus oireiden raportointiin, mikä osittain selittynee puhdistimen läsnäolon tuomalla placebo-vaikutuksella. Toisaalta monien epäpuhtauksien pitoisuudet olivat sham-jaksolla pienemmät kuin ei puhdistinta -jaksolla, joten myös parantuneella ilmanlaadulla saattoi olla vaikutusta. Puhdistinmallien vertailussa vain elektrostaattiseen hiukkasten poistoon perustuva puhdistin (P2) oli oireiden suhteen ON-tilassa tehokkaampi kuin sham-toiminnolla.

Yhteenvetona ilmanpuhdistimet voivat siis vähentää jossain määrin altistumista sisäilman epäpuhtauksille koululuokissa ja toimia tilapäisenä helpotuskeinona korjausta odottavissa rakennuksissa. Puhdistimen käyttöä suunniteltaessa olisi otettava huomioon laitteen testattu

hiukkasten suodatustehokkuus ja mahdollinen kaasumaisten yhdisteiden poisto sekä laitteen optimaalinen käyttöteho ja tarvittavien laiteyksiköiden määrä luokkaa kohti.

4.1.7 Johtopäätökset, suositukset ja tutkimustarpeet

Johtopäätökset

- Kirjallisuuden perusteella eri ilmanpuhdistustekniikoilla poistetaan sekä hiukkasmaisia, että kaasumaisia sisäilman epäpuhtauksia.
 - Osassa tekniikoista voi syntyä sivutuotteina haitallisia yhdisteitä, mutta yhdistelmälaitteella saavutettu hyöty voi olla suurempi kuin sen sivutuotteesta aiheutuva haitta.
 - Yhdistelmälaitteiden (monta eri tekniikkaa käytössä) arviointi on vaikeaa.
- Tarvitaan yhteinen kriteeristö helpottamaan laitteiden valintaa.
- Kirjallisuuden mukaan ilmanpuhdistimien käyttö voi joissakin tapauksissa vähentää allergia ja astmaoireita. Tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat kuitenkin puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille.
- Ilmanpuhdistimen teho tulisi aina mitoittaa huoneen tilavuuden ja ilmanvaihdon tehokkuuden mukaan.
- Mikäli oireita aiheuttava tekijä on tiedossa, tavoiteltu pitoisuuden alenema tulisi määrittää kohteessa mitattujen epäpuhtauspitoisuuksien ja mahdollisesti myös oireilun voimakkuuden perusteella. Tarvittava puhtaan ilman tuotto riippuu näin ollen sekä tilan koosta, ilmanvaihtuvuudesta että tavoitellusta pitoisuustason alenemisesta.
- Laitteen puhtaan ilman tuotto on ilmavirran ja erotusasteen tulo, joten sekä ilmamäärä että suodattimen suodatustehokkuus vaikuttavat puhtaan ilman tuottoon saman verran.
- Ennen ilmanpuhdistimien käyttöönottoa tulee arvioida myös muiden epäpuhtauksien pitoisuuksia alentavien toimenpiteiden toteuttamista. Näitä ovat mm. perusteellinen siivous, paine-erojen vähentäminen vaurioituneeseen rakenteeseen nähden sekä epäpuhtauslähteen tiivistäminen.
- Ilmanpuhdistimia valittaessa tulisi kiinnittää huomiota taulukossa 3 esitettyihin seikkoihin.

Suosituks

- Ilmanpuhdistimia **ei tule käyttää**:
 - Korjausten välttämiseksi
 - Korvaamaan puutteellista siivousta tai ilmanvaihtoa
- Käytön tarve tulisi aina määritellä tutkimuksin ja arvioiden, tapahtuuko altistumista, jota ilmanpuhdistimilla voidaan vähentää.

- Ilmanpuhdistimia voi käyttää:
 - Pääasiassa **väliaikaisesti** esim. remonttia odottaessa tai sen aikana suojaamaan viereisiä tiloja
 - Auttamaan herkistynyttä esim. palaamaan korjattuun tilaan
 - Tiloissa, joissa tavallista suurempi hajukuorma
- Ilmanpuhdistimien **tarve on arvioitava tapauskohtaisesti** ja ennen ilmanpuhdistimien käyttöönottoa tulee arvioida myös muiden epäpuhtauksien pitoisuuksia alentavien toimenpiteiden toteuttamista.
- Tarvitaan yhteinen kriteeristö helpottamaan laitteiden vertailua ja hankintaa.

Tutkimustarpeet

- Tarvitaan lisää tutkimusta ilmanpuhdistimien tehokkuudesta vähentää erilaisia sisäilman epäpuhtauksia ja niistä aiheutuvia terveyshaittoja.

Lähteet ja tausta-aineistot

Helsingin Sanomat (16.4.2008). Puhdasta ilmaa, mutta äänekkäästi. Hinta ja Laatu D1.

Helsingin Sanomat (25.4.2012). Joko loppuisi niistäminen. Kuluttaja D1.

Institute of Medicine (IOM) 2000. Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposures. Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air, Division of Health Promotion and Disease Prevention.

TM Rakennusmaailma (4/12). Tiukkaa tietoa puhdistustehoista.

4.2 Biosidien ja otsonoinnin vaikutus

Kaisa Jalkanen, Hanna Leppänen ja Anne Hyvärinen, THL

Hankkeessa referoitiin Työterveyslaitoksen Biosidit ja korjausrakentaminen -raportti (Louhelainen ym. 2016) sekä Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen Otsonointi sisäympäristöissä -kirjallisuuskatsaus verkkojulkaisu (Leppänen ym. 2017), joiden pohjalta tuotettiin keväällä 2016 Työterveyslaitoksen ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen yhteinen kannanotto ja suositukset biosidien käytöstä korjausrakentamisessa. Lisäksi raportoidaan verkostotyöpajan antia aiheeseen liittyen.

4.2.1 Biosidit

Biosideilla tarkoitetaan kemiallisia aineita, valmisteita tai pieneliöitä, joiden tarkoituksena on tuhota, torjua tai tehdä haitattomaksi haitallisia eliöitä, estää niiden vaikutusta tai rajoittaa niiden esiintymistä. Myös otsoni luokitellaan biosidiksi. Biosideina käytettävät tuotteet ovat kemialliselta koostumukseltaan, teholtaan ja käyttötavoiltaan erilaisia. Desinfiivia biosidivalmisteita on käytetty korjausrakentamisessa homesiivousten yhteydessä tai homeiden ehkäisyssä. Tässä käsitellään muut biosidit paitsi otsonointi.

Biosidien käyttö

Työterveyslaitoksen ”Biosidit ja kosteusrakentaminen” hankkeen yhteydessä haastateltiin sisäilmapalveluja tuottavia yrityksiä sekä jälkivahinkotorjuntaan erikoistuneita yrityksiä tarkoituksena selvittää biosidien käyttöä Suomessa. Haastattelujen perusteella biosideja käyttävien yritysten toimintatavat vaihtelivat niin koulutuksen, varoaikojen kuin aineiden käytön suhteen.

Haastatellut yritykset käyttivät yhteensä 31 erilaista biosidivalmistetta tai puhdistusainetta, mukaan lukien otsonointi. Suurin osa yrityksistä suositteli biosidien käyttöä tapauskohtaisesti, osa (8 %) kuitenkin jokaiseen kohteeseen. Biosidien arvioidut käyttömäärät vaihtelivat parista litrasta tuhansiin litroihin eri yrityksillä. Myös käytössä olevien eri biosidien määrä vaihteli yritysten välillä nolasta ja yli kuuteen eri biosidiin. Haastattelujen perusteella suosituimmat biosidit olivat vetyperoksidipohjaisia.

Haastelujen perusteella yritysten henkilökunnalla ei ilmennyt oireita biosidien käytön yhteydessä. Kuitenkin haastattelujen edetessä selvisi, että puutteellinen suojaus tai ohjeiden noudattamatta jättäminen oli aiheuttanut oireilua. Haastattelujen perusteella selvisi myös, etteivät kaikki yritykset olleet pystyneet riittävästi arvioimaan biosidien käyttöön liittyviä riskejä korjausrakentamisessa.

Biosidien teho bakteereihin ja sieniin sekä aineiden mahdolliset haittavaikutukset

Biosidivalmisteiden teho mikrobeihin on epävarmaa. Sisäilman ja rakennusten mikrobisto on hyvin laaja, jolloin on vaikea osoittaa, että jokin tietty biosidi tehoaisi kaikkiin materiaalissa tai sisäilmassa oleviin mikrobeihin. Tutkimustieto on tältä saralta hyvin suppeaa ja usean käytössä olevan biosidin teho voidaankin jopa kyseenalaistaa.

Koska biosidien tarkoitus on poistaa tai vähentää ympäristöstä mikrobeja, ovat ne luonnostaan biologisesti aktiivisia aineita. Monet biosidiset yhdisteet ovat ihoa ja limakalvoja ärsyttä-

viä, jotkin haitallisia hengitettynä, ihon kautta ja nieltynä, ainakin suurina määrinä ja jatkuvassa altistuksessa. Joillakin aineilla voi olla vakavampia haittavaikutuksia kuten reproduktio-vaikkeudet, syöpävaarallisuus ja herkistävyys. Biosidien terveysvaikutukset riippuvat pitkälti kemikaalien pitoisuuksista käytetyissä tuotteissa. Altistumiseen vaikuttaa käytetyn aineen lisäksi aineen säilyminen ilmassa ja pinnoilla.

Käytössä olevien aineiden tehosta ja haittavaikutuksista

Peroksidien (mm. vetyperoksidin) vaikutus perustuu solukalvoa tuhoaviin hydroksyyli- ja peroksidiradikaaleihin. Alle 3 % vetyperoksidin nestepitoisuudella on jo näyttöä hyvästä vaikutuksesta homeosieniä vastaan ja 10–30 % pitoisuudella ja pitkällä vaikutusajalla näyttää olevan vaikutusta myös itiöitä vastaan. Tutkimusten mukaan hapettavat tuotteet eivät kuitenkaan pysty estämään elinkelpoisten homeiden kasvua eri rakennusmateriaaleilla. Vetyperoksidin toksikologiset vaikutukset ihmiseen ovat pääasiassa paikallisia ärsytysvaikutuksia ja esimerkiksi jo 7-9 ppm pitoisuuksille altistuminen aiheuttaa voimakasta hengitystieärsytystä. Vetyperoksidilla ei ole havaittu toistuvaan tai pitkäaikaiseen altistumiseen liittyviä terveysvaikutuksia.

Käytetyimpiä desinfiointiaineita ovat klooria sisältävät normaalit pesu- tai puhdistusaineet. Klooria vapauttavat aineet ovat voimakkaita hapettimia, jotka tehoavat bakteerisoluihin ja viruksiin, mutta huonommin mikrobi-itiöihin. Tarkkaa vaikutusmekanismia ei tunneta. Kloorin vaikutus on nopea ja laajakirjoinen, mutta muun orgaanisen aineksen läsnäolo heikentää vaikutusta merkittävästi. Vaikutus riippuu myös pH:sta ja konsentraatiosta. Tutkimusten mukaan klooripohjaiset tuotteet eivät pysty estämään elinkelpoisten homeiden kasvua eri rakennusmateriaaleilla. Natriumhypokloraatille ei ole annettu työhygienisiä raja-arvoja Suomessa. Esimerkiksi natriumklooraattisumun tiedetään aiheuttavan ylähengitysteiden ja silmien ärsytystä ja yli 5 % liuokset voivat aiheuttaa syöpymisvammoja iholla tai silmissä.

Kationisilla pesuaineilla tarkoitetaan yleisesti kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä, jotka ovat ryhmä samankaltaisia aineita, jotka tuhoavat paremmin bakteerisoluja, mutta sieniä vastaan niillä on lähinnä kasvua estäviä vaikutuksia. Kvaternääriset ammoniumyhdisteet aiheuttavat mikrobien solukalvon hajoamisen, kun positiivisesti varautuneet alkyyliryhmät reagoivat kalvolipidien kanssa. Mikrobi-itiöihin yhdisteet eivät vaikuta ja niiden teho heikkenee pesuaineiden, metalli-ionien ja orgaanisen aineksen läsnä ollessa. Kvaternääriset ammoniumyhdisteet ovat väkevinä liuksina ihoa ja silmiä syövyttäviä, tosin eri yhdisteiden ärsyttävyys ja syövyttävyys vaihtelee.

Yleisimmin biosideina käytettävät alkoholit ovat etanoli, isopropanoli ja n-propanoli. Tutkimusten mukaan alkoholit tehoavat tiettyihin viruksiin, bakteereihin ja sieniin, mutta eivät aktinomykeettien itiöihin. Alkoholit denaturoivat mikrobien proteiineja, estävät entsyymien toimintaa ja liuottavat lipidejä. Käyttöliuos on tehokkaimmillaan 80 tilavuus- % vesiliuksena. Alkoholeja käytetään myös muiden desinfiointiaineiden kanssa. Esimerkiksi kvaternääriset ammoniumyhdisteet lisäävät etanolin tehoa. Orgaaninen lika vähentää etanolin tehoa merkittävästi. Biosideina käytetyt alkoholit ovat hengitettynä suhteellisen vähätoksisia. Etanoli, isopropanoli ja propanoli aiheuttavat hengitettynä lähinnä ärsytysoireita reilusti HTP-arvon ylitävillä pitoisuuksilla. Propanoli ärsyttää voimakkaasti silmiä ja alkoholit yleisesti kuivattavat ihoa toistuvan ihokosketuksen seurauksena.

Boorihappo ja booriyhdisteet ovat yleisiä biosideja, joita käytetään puunsuoja-aineina. Tutkimusten mukaan boorihappo soveltuu hyvin ennaltaehkäisevään puunsuojaamiseen, mutta pelkkää boorihappoa tehoaineina sisältävät desinfiointiaineet eivät sovellu korjausrakentamiseen, joissa käsitellään jo muodostuneita kasvustoja. Booriyhdisteet voivat aiheuttaa iho- ja silmä-ärsytystä sekä hengitystieärsytystä. Lisäksi boorihapon toistuva kosketus voi aiheuttaa

ihotulehduksen ja hengitystiealtistumisen seurauksena booriyhdisteet voivat imeytyä verenkiertoon. Eläinkokeiden perusteella booriyhdisteillä voi olla hedelmällisyyttä heikentäviä ja sikiötä vahingoittavia vaikutuksia. Tosin pysyttäessä esimerkiksi boraattien HTP-arvon alla ovat lisääntymismyrkylliset vaikutukset epätodennäköisiä.

Hopean tiedetään vaikuttavan hyvin bakteereihin jo matalina pitoisuuksina, mutta se toimii heikommin hiivoja ja sieniä vastaan. Hopean biosidinen vaikutusmekanismi on epäselvä, mutta se on ilmeisesti samankaltainen kuin kuparilla, eli positiivisesti varautuneet hopeaionit sitoutuvat proteiinien karboksyyli ryhmiin, jolloin proteiinit denaturoituvat. Hopean HTP-arvot perustuvat sen argyrosivaikutuksiin, eli sen kykyyn aiheuttaa ihon ja silmien värjäytymistä. Hopeanitraatti on luokiteltu ihoa syövyttäväksi aineeksi.

Polyguanidiiniyhdisteet polyhexametyleenibiguanidi (PHMB) ja polyhexametyleeniguanidihydrokloridi (PHMG) ovat katonisia yhdisteitä, joita on käytetty laajalti desinfiointitarkoituksiin. Yhdisteet muodostavat polymeerikalvon käsitellylle pinnalle ja ovat siten hyvin pitkäikäisiä. Tukes on kieltänyt PHMG:n käytön ja kehottaa, ettei myöskään PHMB:tä käytettäisi desinfiointiin sisätiloissa. Laboratoriotutkimusten perusteella on kyseenalaistettu PHMG:n ja PHMB:n teho mikrobikasvun estäjänä. PHMB:n terveysriskit liittyvät toistuvaan hengitystiealtistumiseen, joka on aiheuttanut jopa hengenvaarallisia keuhkovaikutuksia, kun ainetta on sumutettu huoneilmaan ilmankostuttimien kautta. Eläinkokeiden perusteella se on myös epäilty syöpävaarallinen aine. PHMG:n käyttö kiellettiin sen turvallisuuteen liittyvän tiedon puutteen vuoksi. Toksisuudesta ei siis ole yksityiskohtaista tietoa, mutta sen voi olettaa aiheuttavan samanlaisia haittavaikutuksia kuin PHMB:n, koska aineet ovat kemiallisilta ominaisuuksiltaan samantyyppisiä aineita.

Orgaanisia happoja (sitruuna-, sulfamiini- ja omenahappoa) käytetään pesuaineiden tehoaineina. Hapot vaikuttavat sieniin ja muihin mikrobeihin, mutta tutkimusten mukaan jotkin sienet voivat käyttää niitä hiilen lähteinä ja siten edesauttaa kasvua. Näiden happojen pääasialliset terveysriskit liittyvät paikalliseen ärsyttävyyteen, jonka voimakkuus vaihtelee haposta riippuen.

Biosidien käytöstä muodostuvat lopputuotteet ja biosidien vaikutus rakennus- ja sisustusmateriaaleihin

Biosidien käytöstä aiheutuvia lopputuotteita on vaikea arvioida, koska lopputuotteiden syntymiseen vaikuttavat myös ympäristöstä johtuvat tekijät, kuten esimerkiksi materiaalit ja muut kemikaalit. Tutkimustietoa hajoamis- tai reaktiotuotteista eikä niiden säilyvyydestä korjauskentamiskohteissa ei ole.

Tiettyjen biosidien vaikutuksista rakennus- ja sisustusmateriaaleihin on jonkin verran tietoa. Esimerkiksi emäksiset biosidit voivat syövyttää useita materiaaleja, kuten metallia ja muovia. Mm. biosidina käytetyn natriumhypokloriitin tiedetään liuottavan nahkaa, eräitä muoveja, tekstiilejä, terästä sekä betonia.

4.2.2 Otsonointi

Otsoni (O₃) on väritön, pistävän raikkaan hajuinen, ärsyttävä ja reaktiivinen yhdiste. Otsoni on itsessään haitallista, erityisesti suuret pitoisuudet.

Otsonoinnin teho bakteereihin ja sieniin

Tutkimusten mukaan ihmiselle turvallisella otsonipitoisuudella ($<0,05 \text{ ppm} = <106 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ei ole sieni- ja bakteeriorganismeja tuhoavaa vaikutusta. Se voi kuitenkin hidastaa joidenkin mikrobien kasvua. Otsonipitoisuuden tulisi olla vähintään 5-10 kertaa ihmiselle haitallista todettua pitoisuutta suurempi, jotta sillä olisi selkeästi sienien ja bakteerien kasvua hidastavia ja tuhoavia vaikutuksia. Laboratorio-olosuhteissa lasipintaisella kasvatusalustalla tehdyissä tutkimuksissa on otsonilla pystytty osoittamaan olevan sieni- ja bakteeriorganismien kasvua hidastava ja organismeja tuhoava vaikutus otsonipitoisuuden ollessa yli $10 \text{ ppm} (= 21\,100 \mu\text{g}/\text{m}^3)$. Rakennusmateriaalien pinnoilla kasvavilla sieni- ja bakteeriorganismeilla ei vastavissa pitoisuuksissa ole havaittu kasvua tuhoavaa vaikutusta.

Tutkimukset osoittavat, että suurelta otsonipitoisuudet ($100\text{--}1000 \text{ ppm}$) eivät pysty tuhoamaan kaikkia sieni- tai bakteeriorganismeja rakennusmateriaalien pinnalta tai sisältä. On myös huomattava, että tällaisten pitoisuuksien tavoittaminen kenttäolosuhteissa on lähes mahdotonta.

Otsonoinnin teho hajuihin sekä vaikutus kemiallisiin epäpuhtauksiin, hiukkasiin, rakennus- ja sisustusmateriaaleihin

Reaktiot otsonoinnissa perustuvat hapetusreaktioon, jossa otsonin muodostamat happiradikaalit reagoivat kemiallisten epäpuhtauksien kanssa, muodostaen sekundääriepäpuhtauksia ja radikaaleja, kuten aldehydejä, ketoneita, orgaanisia happoja, hydroksyyli- ja nitraattiradikaaleja, primääri- ja sekundääriotsonideja, α -hydroksiketoneja, ja α -hydroperoksiedeja. Syntyneet sekundääriyhdisteet voivat reagoida kaasufaasissa uudestaan tuottaen lisää ärsyttäviä ja syövyttäviä sivutuotteita. Sekundääriyhdisteet voivat myös adsorboitua rakennus- ja sisustusmateriaaleihin.

Sivutuotteina syntyviä yhdisteitä voi olla sisäilmassa pitkään, kuukausia, jopa pidempiä aikoja pitoisuuksina, jotka ihminen voi haistaa. Tämä aika on riippuvainen otsonoidusta materiaalista sekä sen pinta-alasta. Otsoni reagoi herkimmin hiili–hiili-sidoksista muodostuvien epäpuhtauksien (esimerkiksi hiilivetyjen ja aromaattisten hiilivetyjen, bentseenin, isopreenin, styreenin, terpeenien, tyydyttämättömien rasvahappojen ja niiden esterien) sekä muiden VOC -yhdisteiden kanssa (alifaattiset yhdisteet, alkeenit, typen yhdisteet).

Otsonoinnin teho hajujen poistossa perustuu kemiallisten epäpuhtauksien hajottamiseen. Esimerkiksi tulipalokohteissa otsoni hapettaa aromaattisia hiilivety-yhdisteitä. Reaktiossa aromaattiset hiilivety-yhdisteet hajoavat ja hajoamistuotteina syntyy aldehydejä sekä ultra-pieniä hiukkasia.

Otsonoinnilla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta sisäilmassa olevien hiukkasten poistoon johtuen hiukkasten hitaasta reaktiosta otsonin kanssa; reaktio voi viedä kuukausia tai vuosia. Otsoni myös reagoi harvemmin hiukkasten kuin kaasumaisten epäpuhtauksien kanssa. Lisäksi hiukkaset sisältävät miljoonia molekyyliä ja jokaisen molekyylin hajottamiseen tarvitaan otsonin ja molekyylin välinen reaktio.

Materiaaleja, joihin otsoni vaikuttaa haitallisesti, ovat muun muassa betoni, kipsilevy, lastulevy, luonnonkumi, neopreeni, lateksimaali, linoleumi ja puulattiat, kokolattiamatot, vahat ja kiillotusaineet. Otsonointi voi myös johtaa materiaalien vanhenemiseen sekä värien haalistumiseen.

Materiaalien hajoamisen yhteydessä syntyy uusia terveydelle haitallisia reaktiotuotteita, jotka voivat adsorboitua muun muassa muihin sisustus- ja rakennusmateriaaleihin tai reagoida uudestaan.

Otsonoinnin vaikutus terveyteen ja otsonointikäsittelyistä aiheutuvat riskit

Otsonin voi haistaa jo suhteellisen alhaisissa pitoisuuksissa: 0,02 – 0,04 ppm (42,3 - 84,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Terveyshaittavaikutuksia voi esiintyä jo alle 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pitoisuuksissa, mikä tulee huomioida otsonilta suojaautumisessa. Otsonin puoliintumisaika sisätiloissa on melko lyhyt, 7-10 minuuttia. Sosiaali- ja terveysministeriö on arvioinut otsonin voivan aiheuttavan haittaa työntekijöiden terveydelle 0,05 ppm pitoisuutta suuremmilla keskimääräisillä pitoisuuksilla (8 tunnin HTP-arvo 0,05ppm = 106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Otsonin terveyshaitat perustuvat sen kykyyn hapettaa keuhkosolujen entsyymejä, proteiineja ja rasvahappoja.

Otsonin aiheuttamat terveysvaikutukset voidaan jakaa karkeasti akuutteihin (välittömiin) sekä kroonisiin vaikutuksiin. Akuutit vaikutukset liittyvät suuriin otsonipitoisuuksiin, krooniset vaikutukset toistuvaan/jatkuvaan altistumiseen koholla oleviin otsonipitoisuuksiin. Otsonointilaitteita käytettäessä akuutit terveysvaikutukset ovat todennäköisiä. Altistuminen otsonille on tällöin lyhytaikaista, mutta pitoisuudet ovat suuria. Jos työntekijät ja asukkaat ovat poissa riittävän pitkän varoajan, otsonin aiheuttamia kroonisia terveyshaittoja ei pääse syntymään. Otsonin aiheuttamia akuutteja terveyshaittoja ovat rintakipu, yskä, hengitysvaikeudet ja kurkun ärsytys. Otsoni voi myös pahentaa astman oireita ja heikentää vastustuskykyä. Pitoisuuden ylittäessä 1 ppm (2110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja altistuksen jatkuessa yli vuorokauden voi otsoni aiheuttaa myös pysyviä silmä- ja hengitystieoireita.

Otsonin kroonisia vaikutuksia ovat astman synty, ateroskleroosi sekä eliniän ennusteen lyheneminen. Pitkäaikainen altistuminen otsonille, suurina pitoisuuksina, lisää myös iäkkäiden ihmisten hengitystieperäisiin sairauksiin liittyvää kuolleisuutta.

Otsonista aiheutuva terveydellinen haitta riippuu pitoisuudesta, altistuksen kestosta, fyysisen rasituksen voimakkuudesta altistuksen aikana ja altistuvan henkilön terveydentilasta sekä geneettisistä tekijöistä. Haitallisena pidetään lyhytaikaisia suuria pitoisuuksia, kuten myös pitkään jatkuvaa altistusta normaalia korkeammille otsonipitoisuuksille.

4.2.3 Otsonointia tekevien tai otsonointilaitteita vuokraavien yritysten haastattelut

Haastatteluissa oli mukana yhteensä yhdeksän otsonointia tekevää tai otsonointilaitteita vuokraavaa yritystä. Haastatteluista ilmeni, että yritysten toimintatavat vaihtelevat niin koulutuksen kuin asiakkaille annettavan ennakko-ohjeistuksen, muun muassa varoajan suhteen. Haastatteluilla yrityksillä oli käytössä eri valmistajien otsonointilaitteita. Otsonointien määrä vaihteli parista kerrasta yli sataan otsonointiin vuodessa. Otsonointia tekeviä työntekijöitä yrityksissä oli 1-3 henkilöä, joiden koulutus vaihteli laitteen toimittajan pitämästä puolen päivän koulutuksesta, useisiin lyhyisiin koulutuksiin tai tarkempaan perehtymiseen aiheesta. Pääsääntöisesti yritykset eivät suositelleet otsonointia tapauksissa, joissa siitä ei ollut erityistä hyötyä kohteessa tai mikäli vahinkolähdettä (esim. homevaurio) ei ole poistettu. Jotkin yritykset suositelivat myös biosideja ja ilmanpuhdistimia. Laitteita vuokraavat yritykset antoivat asiakkaalle sekä kirjallisen että suullisen ohjeistuksen otsonoinnin teknisestä suorittamisesta ja turvallisuudesta. Mikäli yritys teki otsonoinnin itse, annettiin asiakkaalle ohje pysyä poissa tilasta otsonoinnin ajan. Jotkin yritykset ohjeistivat myös poistamaan tilasta huonekasvit, elintarvikkeet ja eläimet ennen otsonointia. Otsonoitavat tilat merkittiin yleensä ulkopuolel-

ta varoituskyltein ja joissakin tapauksissa myös lukittiin. Valtaosa yrityksistä ilmoitti sulkevan-
sa ilmanvaihdon tai teippaavansa ilmanvaihtokanavien suuaukot, jotta otsonin leviäminen
muihin tiloihin pystyttiin estämään. Joissakin tapauksissa tila myös alipaineistettiin. Varoajat
otsonoinnin jälkeen vaihtelivat 30 minuutista kahteen tuntiin, jonka aikana tiloja tuuletettiin,
joissakin tapauksissa myös puhaltimen avulla. Osa yrityksistä ilmoitti varoajan olevan ”mah-
dollisimman pitkä”. Valtaosassa yrityksiä oli käytössä ajastin, jolla laite kytkettiin päälle ja
sammutettiin ”etänä”, jolloin työntekijän altistusta pystyttiin vähentämään. Haastatteluissa ei
tullut ilmi työntekijöiden oireilua.

4.2.4 Työterveyslaitoksen ja Terveystieteiden tutkimuskeskuksen suosittamat biosidien käytöstä korjausrakentamisessa

1. Biosideja ei pääsääntöisesti suositella käytettäväksi sisätiloissa ratkaisuksi homeongel-
miin, homesiivouksen tehosteeksi tai homekasvun ehkäisyyn. Eri biosidiyhdisteryhmien vai-
kutuksista mikrobeihin ei tiedetä tarpeeksi.
2. Biosideja tulee käyttää vain erityistilanteissa, kuten hajunpoistoon ja viemäri-
vahinkojen jälkien siivoukseen. Ennen biosidikäsittelyä tila tulee tyhjentää irtaimistosta, vaurioitunut ra-
kenne tulee poistaa, mikäli mahdollista, tai käsiteltävä pinta tulee puhdistaa mekaanisesti.
Biosideja ei tule käyttää suoraan homehtuneeseen rakenteeseen.
3. Otsonointia käytettäessä on estettävä otsonin leviäminen muihin tiloihin esimerkiksi ilman-
vaihdon kautta.
4. Mahdollisten vakavien haittavaikutusten välttämiseksi polyguanidiiniyhdisteitä (PHMB),
booriyhdisteitä (dinatriumboraatti) ja isotiatsolinonyhdisteitä ei suositella käytettäväksi lain-
kaan.
5. Yrityksissä tulee olla tarkat ohjeet, kuinka työntekijät ja muut rakennuksissa oleskelevat
suojataan mikrobeilta ja muilta vaurioituneista materiaaleista vapautuvilta epäpuhtauksilta.
Myös biosidien käytöstä tulee olla tarkat ohjeet, joiden tulee perustua tuotteiden käyttöturval-
lisuustiedotteeseen ja yrityksen tekemään riskinarviointiin.
6. Tilojen käyttäjälle tulee antaa ennen biosidien käyttöä riittävät tiedot käytettyjen aineiden
mahdollisista haitallisista vaikutuksista terveyteen. Annetun tiedon tulee perustua tuotteen
käyttöturvallisuustiedotteeseen ja Tukesin ohjeistukseen.
7. Biosideja käytettäessä tulee noudattaa tarkoin valmistajien antamia ohjeita niin käyttöta-
van, työturvallisuuden kuin myös varoajien suhteen. Varovaisuusperiaatteen mukaisesti
suosittelemme varoajaksi kaikkia biosideja käytettäessä vähintään 24 tuntia ja otsonoinnille
mieheellään 48 tuntia. Varo aika voi olla myös tätä pidempi, jos valmisteen käyttöohje sitä edel-
lyttää.
8. Otsonoinnin jälkeen tilan ilmanvaihtoa tulee tehostaa, jos mahdollista, jotta ilman epäpuh-
taudet saadaan poistettua. Myös tilassa olevat pinnat tulee puhdistaa.
9. Yrityksille tulisi tarjota yhdenmukaista, puolueetonta koulutusta ja koulutusmateriaalia bio-
sidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä. Yhteisesti tuotettu, avoimesti saatavilla
oleva koulutusmateriaali on hyödyksi myös kuluttajille ja asiakkaille. Asiakkaan on hyvä suh-
tautua kriittisesti biosidien markkinointiin ja yritysten antamaan tietoon biosidien turvallisuu-
desta.

4.2.5 Verkostotapaamiset

Biosidi- ja otsonointikäsittelyjä käsiteltiin verkostotapaamisessa koskien kosteus- ja homevauriokorjauksien jälkeistä siivousta 30.3.2016 ja tapaamisessa koskien koko hanketta 15.6.2016 Kuntaliitossa, Helsingissä. Ensimmäisessä tilaisuudessa oli paikalla noin 20 ja toisessa noin 100 henkilöä.

Maaliskuun verkostotapaamisessa mukana olleet toimijat kertoivat, että otsonointia käytetään lähinnä hajunpoistoon. Asumisterveysliitto AsTe ry:n edustajan mukaan otsonoinnista ei ole saatu hyviä kokemuksia. Haju ei ole saatu häviämään pysyvästi ja otsonoinnista on koettu jopa enemmän haittaa kuin hyötyä. TTL:n mukaan otsonoinnilla on ollut apua työpaikoilla - tärkeää on tosin ensin aina selvittää, mistä rakennuksessa esiintyvä haju johtuu. Useat toimijat eivät suosittele tai käytä biosideja kuin korkeintaan poikkeustilanteissa ohjeistuksen mukaisesti. Muutama paikalla ollut yritys kertoi käyttävänsä desinfiointia kosteusvauriokohteissa ja otsonointia kalmanhajun yms. poistoon.

Kesäkuun verkostotapaamisessa kuultiin alustus, joka perustui Työterveyslaitoksen ”Biosidit ja korjausrakentaminen” -raporttiin (Louhelainen ym. 2016) sekä Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen ”Otsonointi sisäympäristöissä” -kirjallisuuskatsaus verkkojulkaisuun (Leppänen ym. 2017), joiden pohjalta tuotettiin keväällä 2016 Työterveyslaitoksen ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen yhteinen kannanotto ja suositukset (4.2.4) biosidien käytöstä korjausrakentamisessa. Lisäksi viestiseinän avulla esitettiin väittämiä aiheeseen liittyen ja keskusteltiin äänestysten tuloksista.

Kaikkien viestiseinän kysymyksiin vastanneiden mielestä kannanotto biosidien käytöstä korjausrakentamisessa oli joko hyvä (57 %) tai pääasiassa hyvä (43 %). Keskustelusta ei käynyt ilmi, miksi puolet vastanneista piti kannanottoa vain pääasiassa hyvänä. Keskustelu keskittyi otsonin käyttöön tai hajujen poistoon yleisesti.

Suurin osa vastanneista (61 %) piti TTL:n ja THL:n kannanoton suosituksia varoajoille (vähintään 24 h biosideille ja mielellään 48 h otsonille) sopivina. Keskustelussa ei ilmennyt, oliko suositeltu varoaika liian pitkä vai liian lyhyt niiden mielestä, jotka äänestivät varoajojen olevan epäsoivia. Keskustelussa ilmeni kuitenkin tarve tarkentaa varoajan määrittelyä sen osalta, mitä varoikaan lasketaan kuuluvaksi (esim. tuuletus, siivous).

Vastaajista vain 16 % oli sitä mieltä, että yrityksillä on olemassa tarkat käyttöturvallisuustiedotteisiin ja riskinarviointiin perustuvat ohjeet biosidien käytöstä. Vastaajista 37 % arvioi, että yrityksillä on harvoin tarkkaa ohjeistusta ja 47 % vastaajista oli sitä mieltä, että yrityksillä ei ole tarkkoja ohjeita. Kaikki vastaajat olivat sitä mieltä, että yrityksille ei ole tarjolla tarpeeksi yhdenmukaista, puolueetonta koulutusta biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä. Vastaajista lähes kaikki 87 % olivat sitä mieltä, että biosideja käytetään suoraan homehtuneisiin rakenteisiin usein tai joskus. Tämä on huolestuttavaa ja vastoin THL:n ja TTL:n kannanottoa.

4.2.6 Johtopäätökset, suositukset ja tutkimustarpeet

Johtopäätökset

Työterveyslaitoksen ja Terveiden ja hyvinvoinnin laitoksen yhteinen kannanotto ja suositukset biosidien käytöstä korjausrakentamisessa (kohta 4.2.4) on pääsääntöisesti hyvä. Kannanoton jalkautuminen käytäntöön biosideja käyttäville yrityksille on varmistettava esimerkiksi koulutuksella. Vakuutusyhtiöiden ohjeistus ja suositukset biosidien käyttöön liittyen tulee sel-

vittää ja lisäksi tulee varmistaa, että kannanoton suositukset ovat myös vakuutusyhtiöiden tiedossa. Kannanottoa ja suositusta tulee täsmentää mahdollisuuksien mukaisesti varoaikojen osalta biosidikohtaisesti. Varoajat tulee määritellä tarkemmin tuuletuksen ja siivouksen osalta. Biosidikäsittelyä tekeville toimijoille ei ole olemassa riittävää koulutusta. Yrityksille tulee tarjota yhdenmukaista, puolueetonta koulutusta ja koulutusmateriaalia biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä. Tahoa, joka tällaista koulutusta järjestäisi, ei ole toistaiseksi määritetty.

Suositukset

- Biosideja käyttäville yrityksille on järjestettävä puolueetonta koulutusta ja koulutusmateriaalia biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä.
- Vakuutusyhtiöiden ohjeistus ja suositukset biosidien käyttöön liittyen tulee selvittää.

Tutkimustarpeet

- Tarvitaan tutkimusta biosidien ja otsonoinnin hyödyistä ja tehosta korjausrakentamisen yhteydessä ja käsittelyjen vaikutuksesta rakennuksen mikrobiomiin ja terveyteen.

Lähteet ja tausta-aineistot

Leppänen H, Peltonen M, Komulainen H, Hyvärinen A (2017). Otsonointi sisäympäristöissä – kirjallisuuskatsaus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-837-1>

Louhelainen K, Santonen T, Moisa J, Stockmann-Juvala H, Pennanen S, Lapinlampi T (2016). Biosidit ja korjausrakentaminen. [http://urn.fi/URN:ISBN 978-952-261-632-6\(PDF\)](http://urn.fi/URN:ISBN 978-952-261-632-6(PDF))

4.3 Tiivistyskorjaukset

Tero Marttila, TTY; Mari Turunen ja Ulla Haverinen-Shaughnessy, THL

4.3.1 Tavoitteet, rajaukset ja määritelmät

AVATER-hankkeessa tavoitteena oli käydä läpi tiivistyskorjauksiin liittyvää kirjallisuutta ja kerätä kokemuksia alan yrityksiltä, kunnilta ja asiantuntijoilta. Internetkyselyllä selvitettiin mm. tiivistyskorjauksiin liittyviä käyttöikätaavoitteita. Niitä selvitettiin sekä korjauksia tekevien yritysten että niitä tilaavien kuntien näkökulmista.

Tässä raportissa ja sen liitteissä tiivistyskorjauksella (ja tiivistämiskorjauksella) tarkoitetaan peruskorjaustason menetelmää, jolla rakenteiden liitoskohtien hallitsemattomia ilmavirtauksia ja virtausten mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsyä huoneilmaan estetään vedeneristämistä vastaavilla menetelmillä ja vedeneristeiden kaltaisilla tuotteilla.

Tiivistyskorjauksista käytettyyn terminologiaan liittyy kuitenkin ristiriitoja. Esimerkiksi massapuristimella tehtävä silikonisaumaus tai hajonneen tiivisteiden uusiminen ovat huoltotoimenpiteitä eikä niitä yleensä lasketa mukaan, kun puhutaan tiivistyskorjauksista osana rakennuksen peruskorjausta.

Kosteusvaurioita korjattaessa kapseloinnilla tarkoitetaan yleensä diffuusiolla rakenteen läpi siirtyvien yhdisteiden estämistä. Yleiskielessä kapselointi tarkoittaa kuitenkin, että kapseloitava kohde suljetaan joka suunnasta, mikä korjattavien rakenteiden tapauksessa ei yleensä olisi edes mahdollista.

Rakenteiden uusimisella tarkoitetaan, että koko rakennusosasta puretaan tietyt rakennekerrokset ja korvataan ne uusilla vastaavilla tai paremmin toimivilla materiaaleilla. Tämä on yleensä ainoa vaihtoehto laajoissa vauriotapauksissa, joissa koko rakennusosa altistuu liialliselle kosteusrasitukselle tai silloin, kun rakenteen rakennusfysikaalinen käyttäytyminen ei syystä tai toisesta toimi sen nykyisissä olosuhteissa. Uusimiseen saatetaan päätyä senkin takia, että se on varmin tapa vähentää altistumista rakenteista vapautuville epäpuhtauksille ja samalla voidaan parantaa rakenteen ja koko rakennuksen lämmöneristyskykyä.

4.3.2 Kirjallisuuskatsaus

Julkisessa keskustelussa on ollut esillä vastakkainasettelua sen suhteen, voidaanko tiivistyskorjauksia käyttää korjausmenetelmänä lainkaan vai pitäisikö niiden käyttöä suosia jopa nykyistä enemmän. Kirjallisuuslähteet ovat kuitenkin keskenään varsin samoilla linjoilla tiivistyskorjausten ominaispiirteistä (Liite 4. Kirjallisuuskatsaus tiivistämiskorjauksista). Tiivistyskorjausten toteutukseen liittyy merkittävämpiä riskejä kuin rakenteiden uusimiseen, mutta oikein valitut materiaalit ovat itsessään pitkäikäisiä ja toisaalta nykyaikaiset kerrokselliset ja hyvin lämpöä eristävät rakenteet edellyttävät tiiviyttä myös uudisrakentamisessa.

Tiivistyskorjauksia ei pidä käyttää selkeiden kosteusvaurioiden pintapuolisena korjausmenetelmänä, koska riski tiivistyksen tartunnan pettämisestä on merkittävä. Korjaustavasta riippumatta vaurion aiheuttaja tulee aina selvittää ja poistaa.

Tiivistyskorjauksilla voidaan vaikuttaa siihen, että esimerkiksi maaperästä tai ulkopuolisista rakenteissa peräisin olevat mikrobipäästöt pysyisivät sellaisella tasolla, että ne eivät aiheuta ongelmia suurimmalle osalle rakennuksen käyttäjistä.

Tiivistetyt rakenteet tulisi tutkia merkkiainekokeilla ohjekortin RT 14-11197 mukaisesti. Kirjallisuuslähteiden perusteella on todennäköistä, että kuivassa alustassa tiivistys pysyy pitkäänkin, jos sen tartunta on hyvä massan kovetuttua. Näin ollen merkkiainekokeet ovat hyvä laadunvarmistuskeino, joka voidaan suorittaa ulkoilman olosuhteista riippumatta. Pitkäaikaiskestävyydestä todellisissa kohteissa ei kuitenkaan ole luotettavaa tutkimustietoa ja tiivistettyjen rakenteiden seurantamittauksia suositellaan senkin takia, että käyttäjät voivat toiminnallaan aiheuttaa reikiä tiivistettyihin rakenteisiin.

Kirjallisuuskatsauksen yhteenveto:

- Rakenteiden tiivistämistä **ei** tule käyttää vaurioituneiden materiaalien poistoon perustuvan **homevauriokorjauksen vaihtoehtona vaan varmistustoimenpiteenä.**
- Tiivistämiskorjaus **ei sovi kaikille rakenteille.**
- Rakenteita tule milloinkaan tiivistää ilman **tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa ja seurantaa.**
- Tiivistämiskorjaussuunnittelu
 - Tehdään aina **kohdekohtaisesti** (ei tule soveltaa muissa kohteissa)
 - Edellyttää asiantuntemusta
 - Edellyttää käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemista
- **Tiivistämiskorjauksen teknisen toteutuksen onnistuminen varmennetaan työmaalla** mallityön toteutuksella ja tarkoituksenmukaisella laadunvarmistusmenettelyllä.
- Tilojen käyttöönoton jälkeen korjausten onnistuminen varmistetaan
 - Käyttäjiltä saatavalla palautteella
 - Tiiveyden pysyvyyden määräraikaistarkastuksilla
- **Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on tarkastettava ja säädettävä aina tiivistämiskorjausten yhteydessä.**
- Tiivistämiskorjausten epäonnistumiseen johtavia syitä ovat mm.
 - **Puutteet suunnitelmien (+ tarpeeksi tarkkojen detaljien) laatisessa ja työnaikaisessa laadunvarmistuksessa**
 - Työvirheet

4.3.2 Kyselytutkimus ja verkostotapaamiset

Kutsu sähköiseen kyselyyn tiivistämiskorjauksista lähetettiin sähköpostitse 22 kunnalle ja 14 yritykselle. Kyselyyn vastasi yhteensä seitsemän kuntaa (vastausprosentti 32 %) ja seitsemän yritystä (50 %).

Pienen aineiston johdosta tulokset ovat vain suuntaa antavia. Tähän raporttiin on kerätty vain selvimmät tulokset. Lisää tuloksia ja tarkempi kuvaus kyselystä löytyvät liitteessä 5.

Vastausten perusteella kunnat näkevät tiivistyskorjaukset enimmäkseen ensiaputoimenpiteenä, jolla tavoitellaan alle viiden vuoden käyttöikää. Vain harvat kunnat tavoittelevat tiivistyskorjauksilla yli 20 vuoden käyttöikää. Yritysten vastauksissa yleisin käyttöikätaavoite oli välimallin ratkaisu 5-20 vuotta. Yritystenkin vastauksissa pysyvän (kyselyssä määritellysti yli 20 v. kestävä) ratkaisun käyttöikää tavoiteltiin varovaisemmin.

Selvimpiin tuloksiin lukeutui, että tiivistyskorjauksia tehdään nykyään aiempaa enemmän. Sekä kuntien että yritysten vastausten perusteella korjausten onnistuminen varmistetaan ja tiiviyn pysyvyyttä seurataan lähes poikkeuksitta.

Tiivistyskorjauksista keskusteltiin AVATER-hankkeen verkostotapaamisissa kesäkuussa 2016 Helsingissä sekä hankkeen loppuseminaarissa marraskuussa 2016 Tampereella. Toukokuussa 2016 tutkimusryhmän jäsen osallistui Kajaanissa järjestettyyn koulutusseminariin, jossa konsulttiyritys ja tiivistysmateriaalien tuotevalmistelija jakoivat tietoa tiivistyskorjauksista.

Seminaareissa nousi esiin keskustelu laadunvarmistustoimenpiteistä, joista keskeisimmät ovat merkkiainekokeet ja henkilösertifiointi.

4.3.3 Johtopäätökset ja suositukset

Tiivistyskorjauksella pyritään estämään, että huoneilmaan ei oteta korvausilmaa rakenteiden läpi, koska esimerkiksi maaperä ja useat ulkovaipparakenteet sisältävät käytännössä aina sisäilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia. Erityisen tärkeää rakenneliitosten tiivistäminen on voimakkaasti alipaineisissa rakennuksissa tai sen osissa. Rakenteiden tiivistäminen muuttaa rakennuksen painesuhteita, joten ilmanvaihtojärjestelmä tulee aina säätää uudelleen korjauksen jälkeen.

Oikeat tuotteet ja huolellinen työ mahdollistavat esimerkiksi alapohjalaatan ja seinän välisen ilmavuoreitin sulkemisen ilman, että koko laatta ja sen alla mahdollisesti orgaanista materiaalia sisältävät maatyöt täytyisi poistaa. Elastisimpiakaan tiivistysmateriaaleja ei kuitenkaan suositella asentamaan isoja lämpö- tai kosteusmuodonmuutoksia mahdollistaville alustoille. Kiinnitysalustan huolellinen puhdistaminen on aina erittäin tärkeää hyvän tartunnan mahdollistamiseksi. Seurantamittausten ja muiden laadunvarmistusmenettelyjen tarve korostuu tiivistyskorjauksissa. Oikean korjausmenetelmän tai usein eri menetelmistä koostuvan kokonaisuuden valinta laadunvarmistuksineen edellyttää asiantuntemusta ja huolellista suunnittelua.

Monet kosteusvauriot ovat paikallisia ja ne ovat saattaneet aiheutua esimerkiksi huoltotoimenpiteiden laiminlyömisestä. Tällöin vaurioitunut rakennekohta tulee uusiksi ja samassa yhteydessä on tarkkaan selvitettävä muiden vastaavien vaurioiden riski. Tiivistyskorjausta ei tulisi käyttää riskin torjuntaan tai ainakin tällöin on otettava huomioon valinnan seuraamukset ja mahdollisesti korjauksen lyhyt käyttöikä. Tällöin on myös tärkeää varmentaa kaikkien tiivistystöiden laatu. Mallityöt ovat hyvä laadunvarmistusmenettely, mutta kosteusriskejä sisältävillä rakenteilla yksittäisen tilan mallityö ei vielä takaa koko rakennuksen laajuista onnistumista.

Tiivistämällä ei tule piilotella riskejä eikä etenkään vaurioita. On hyvä tiedostaa, että kosteusvaurioiden jättäminen rakenteisiin tyypillisesti herättää epäluottamusta käyttäjissä, vaikeuttaa rakennuksen myyntiä ja todennäköisesti laskee rakennuksen arvoa. Etenkään aktiivisia, eli eteneviä tai pahentuvia vaurioita ei milloinkaan pidä jättää korjaamatta.

Tiivistyskorjaukseen päätyminen tulee olla aina menetelmään ja kohteeseen liittyvät riskit tiedostava valinta ja valinnasta pitää pystyä tiedottamaan avoimesti rakennuksen käyttäjiä. Tiivistämällä voidaan alentaa lievien vaurioiden aiheuttamaa käyttäjien altistumisen riskiä, jos rakenteet ovat muuten tavoitteiden mukaiset. Tiivistyskorjauksilla pyritään yleensä hankkimaan lisää mietintäaikaa esimerkiksi kunnan koko rakennuskannan suunnitelmallisen korjaussuunnitelman laadintaan. Korjaustavan valinta tulee aina suhteuttaa rakennukselle suunniteltuun käyttöikätaavoitteeseen.

Merkkiainekokeiden suorittamista ohjeistavan RT 14-11197 ohjekortin tai sertifiointikoulutusten mahdollisesti positiivisia vaikutuksia tiivistyskorjausten laatuun ei vielä tiedetä. Syksyllä 2015 julkaistu ohjekortti RT 14-11197 kuvaa hyvinkin tarkasti merkkiainekokeiden suorittamisen ja mainitsee raportointiin kuuluvasta yhteenvedosta ja toimenpide-ehdotuksista, joissa keskeisenä osana on tulosten tulkinta ja kokonaisaltistumisen arviointi. Ohjekortti ei kuitenkaan ohjeista tulosten tulkintaa, eikä pienten ilmapuotojen yhteydestä sisäilman laatuun ja käyttäjien terveyteen taida olla saatavilla tutkittua tietoa muuallakaan.

Hankkeessa toteutettu kyselytutkimus osoitti, että tiivistyskorjaukset ovat yleistyneet. Kyselyn ja seminaarien perusteella tiivistyskorjauksiin osataan suhtautua pääasiassa asiallisesti ja uuden menetelmän edellyttämällä varovaisuudella. Kirjallisuuskatsauksessa ei ilmennyt teknisiä esteitä tiivistyskorjausten toteuttamiselle. Oikein toteutettuna rakenteiden sisäpintojen tiivistäminen on keskeinen osa onnistunutta lopputulosta niin korjaamisessa kuin uudisrakentamisessakin.

Kirjallisuuslähteissä ja julkisessa keskustelussa on kuitenkin raportoitu useita epäonnistumisia. Kirjallisuuskatsauksen lähteissä on myös analysoitu syitä epäonnistumisiin. Jatkossa on ensiarvoisen tärkeää löytää keinot, joilla korjaukset saadaan onnistumaan myös käytännössä.

AVATER-hankkeen loppuseminaarissa keskusteltiin tiivistyskorjausten tekijöiden sertifiointista vedeneristystöiden tavoin. Sertifiointikoulutuksia järjestetään jo, mutta ne eivät ole vielä yleistyneet niin, että vaikutuksia onnistumiseen olisi voitu selvittää.

Suosituks

Korjaustapoja vertailtaessa tulisi ottaa huomioon muitakin kustannusvaikutuksia kuin pelkkä hankintahinta. Kustannukset tulisi arvioida rakennuksen koko jäljellä olevalle elinkaarelle. Lisäksi on hyvä tiedostaa, että rakenteisiin jäävillä riskeillä on todennäköisesti vaikutusta rakennuksen jälleenmyyntiarvoon.

Laadunvarmistuksen suunnittelu, toteutus, valvonta ja dokumentointi korostuvat tiivistyskorjauksissa. Laadunvarmistukseen liittyvät toimenpiteet tulisikin ottaa huomioon jo kustannusvertailuja tehtäessä.

Tiivistyskorjaukseen ei pitäisi päätyä ilman asiantuntijan apua. Tiivistyskorjaukseen päädyttäessä tilaaja voi vaatia, että työt suorittaa sertifioitu tai muuten (esim. onnistuneiksi varmennettujen referenssien perusteella) pätevä toimija.

Tiivistyskorjauksia on pohdittu myös terveydensuojelulain näkökulmasta. Tiivistyskorjaus, jossa vaurioituneita lämmöneristeitä ei poisteta, on ymmärrettävä terveydensuojelulain näkökulmasta terveyshaittaa aiheuttavan altistumisen rajoittamisena. Terveydensuojelulain 27 §:n mukaan haitasta vastuussa olevan on selvitettävä ja tarvittaessa poistettava tai rajoitettava terveyshaittaa aiheuttavaa tekijää siten, että haittaa voidaan pitää hyväksyttävänä. Tiivistys-

korjaus on tehtävä siten, että altistumisen todennäköisyys muuttuu niin epätodennäköiseksi, että sitä voidaan pitää terveydensuojelun kannalta hyväksyttävänä.

Tutkimustarpeet

Tiivistyskorjauksiin liittyy yhä runsaasti tutkimustarpeita ainakin seuraavilla osa-alueilla:

- Tiivistämiskorjausten onnistuminen ja käyttöikä toteutetuissa kohteissa
- Käyttäjien kokemukset ja mielikuvat tiivistyskorjauksiin liittyen
- Korjaustavan valinnan merkitys rakennuksen jälleenmyyntiarvoon
- Tiivistämiskorjausten vaikutukset sisäilman laatuun
- Selvyyttä ja luotettavaa tietoa tulosten tulkintaan. Minkä verran ilmavuotoja voidaan sallia?
- Mitkä ovat ne rakenneratkaisut, jotka erityisesti edellyttävät tiivistämistä?
- Mitkä ovat ne rakenneratkaisut, joita ei onnistuta tiivistämään?

Lähteet ja tausta-aineistot

RT 14-11197 (2015). Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö RTS.

5. YHTEEVETO JOHTOPÄÄTÖKSISTÄ

Tähän lukuun on koottu yhteenveto koko raportin johtopäätöksistä ja suosituksista. Yksityiskohtaisimmat johtopäätökset on esitetty kunkin aihealueen omissa johtopäätöksissä ja suosituksissa. Lisäksi tässä esitetään yhteenveto tutkimus- ja toimenpidetarpeista aihealueella.

5.1 Kosteusvaurioiden terveyshaitat ja toimintatavat sisäilmaongelmien hoitamisessa ja ennakoivassa kiinteistönpidossa

Rakennusten kosteusvauriot ovat hengitystieoireiden ja astman riskitekijä, mutta ei ole tiedossa, mitkä tekijät ja millä mekanismeilla ne aiheuttavat haitallisia terveysvaikutuksia. Jotta voidaan ennaltaehkäistä terveyshaittoja, rakennusten kosteusvauriot tulee korjata ja näiden synty ennalta ehkäistä.

Valtaosa kunnista arvioi koulujen sisäilmatilanteen hyväksi ja kokee, että ongelmien hallinnassa onnistutaan hyvin. Kuitenkin noin 10 – 30 prosentissa kuntia tilanne koetaan haastavaksi tai jopa vaikeaksi, ja ongelmia voi olla useilla sisäilmaongelmien hallinnan eri osaluilla.

Osalla kunnista (30 %) ei ole lainkaan yhtenäisiä prosesseja tai selkeitä toimintaohjeita sisäilmaongelmien hoitamiseen. Vain kolmanneksella kunnista on ohjeistusta tai yhtenäiset periaatteet jatkotoimenpiteiden määrittelyyn ja niiden kiireellisyyden arviointiin. Selkeät kriteerit terveydellisen merkityksen arvioimiseksi puuttuvat. Valtaosalla kunnista ei ole ohjeistusta tai yhtenäisiä periaatteita useiden eri korjauskohteiden väliseen priorisointiin. Myös pitkäntähtäimen suunnitelmien tekemisessä ja ennaltaehkäisevässä toiminnassa on puutteita. Kunnilla on lisäksi ongelmia paitsi toimijoiden välisessä yhteistyössä myös sisäisessä ja ulkoisessa viestinnässä.

Suosituksia terveydellisen merkityksen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arviointiin

Terveydellisen merkityksen ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnin tulee perustua kokonaisvaltaiseen altistumisen arviointiin, jossa huomioidaan paitsi altistumisen voimakkuus ja todennäköisyys myös altistumisen toistuvuus. Rakennukset tulee tutkia kokonaisuutena. Arvioinnissa tulee huomioida myös käyttäjien kokemat olosuhdehaitat, oireet ja sairastaminen. Koettujen haittojen, oireiden ja sairastavuuden poikkeava esiintyminen voi korostaa toimenpiteiden kiireellisyyttä.

Altistumisen arviointiin, toimenpiteiden määrittelyyn ja priorisointiin tarvitaan lisää ohjeistusta. Tähän luovat hyvän pohjan Työterveyslaitoksen altistumisolosuhteiden arviointimallin periaatteet (Lappalainen ym. 2016: Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen).

Terveydellisen merkityksen ja kiireellisyyden arviointia tulisi tehdä asiantuntijaryhmässä, joka tuntee hyvin altistumiseen ja käyttäjien terveyteen liittyvät asiat. Tämä voi olla esimerkiksi kuntotutkijan, terveystarkastajan ja lääkärin muodostama työryhmä. Myös päätökset rakennukselle tehtävistä toimenpiteistä olisi suositeltavaa tehdä useamman tahon yhteistyönä niin, että asiantuntijat, jotka ovat perehtyneet rakennuksen altistumisolosuhteisiin ja käyttäjien terveyteen, ovat esittelemässä rakennuksen terveellisyteen vaikuttavat seikat.

Rakennusten kuntotutkimukset ovat tärkeä osa käyttäjien altistumisen arviointia ja niistä laadittujen raporttien on oltava käyttökelpoisia terveydellisen merkityksen arviota tekeväille eli esimerkiksi terveystarkastajan ja lääkärin muodostamalle työparille. Kuntotutkijoille tulee täsmentää, että havaintojen merkitystä altistumisen kannalta arvioidaan raportissa konkreettisesti, kohdekohtaisesti ja tutkimuksen tilaajalle annetaan yksiselitteisiä jatkotoimenpide-ehdotuksia. Kuntotutkimukset on ohjeistettu ja raporttipohja on julkaistu Ympäristöministeriön Ympäristöoppaassa 2016 (Pitkäranta 2016).

Lääkäreille tarvitaan lisää ohjeistusta ja koulutusta terveydellisen merkityksen arviointiin ja kouluterveydenhuollon roolia tulee täsmentää.

Suosituksia koko sisäilmaongelman hallintaprosessiin

Eriasteisten sisäilmaongelmien ratkaisemista ja hallitsemista varten kunnat tarvitsevat yksityiskohtaisen prosessikuvausmallin, jossa esitetään selkeästi eri toimijoiden roolit ja vastuut. Mallia voi ottaa kunnista, joissa vastaava on tehty. Mallissa tulee ottaa huomioon kunnan/maakunnan koko. Sisäilmaongelmien hoitamista tukee yhtenäinen sähköinen järjestelmä, johon kaikki päätöksentekoa varten tarvittavat tiedot dokumentoidaan ja jota kautta tiedot välittyvät kaikille vastuussa oleville toimijoille ja edelleen seuraaviin vaiheisiin. Sisäilma-asioihin liittyvää osaamista kunnissa/maakunnissa on lisättävä. Myös oikea-aikainen ja aktiivinen ulkoinen viestintä ja luottamuksen rakentaminen on tärkeä osa prosessia.

Ohjeistusta tarvitaan etenkin sisäilmaongelmien selvittämisen prosessin alkuvaiheeseen, jotta saadaan luotua hyvä toimintarutiini tavanomaisten ja helppojen tapauksien nopeaan hoitamiseen. Tämänhetkinen ohjeistus painottuu vaikeisiin tapauksiin ja sopii paremmin isoille toimijoille.

Erityisesti rehtorit tarvitsevat koulutusta ja tukea rooliinsa koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa. Myös opettajat, muu henkilökunta, oppilaat ja heidän vanhempansa tarvitsevat tietopakettia siitä, miten toimia ja mitä odottaa, kun koulussa epäillään tai on havaittu sisäilmaongelmia.

Suosituksia päätöksentekoon ja korjausten onnistumiseen

Rakennusten kunnossapitoon ja ennakoivaan korjaamiseen tulisi panostaa nykyistä enemmän. Rakennusten tutkimisessa tulisi tarkastella rakennusta aina kokonaisuutena ja rakennuksen osatutkimuksia tulisi välttää. Laajojen korjaustoimenpiteiden rinnalla tulisi pohtia myös uudisrakentamisvaihtoehtoa.

Suosituksia ennakoivaan kiinteistönpitoon

Jatkuvaan tiedonkeruuseen tulee luoda toimintamalli ja kertyvää tietoa-aineistoa täytyy tiivistää ja analysoida. Rakentamisvaiheessa kertyvä tietoa tulee siirtää nykyistä paremmin käyttövaiheeseen. Eri käyttäjäryhmät (käyttäjät, siivoajat, kiinteistönhuolto, isännöitsijä, kiinteistöpäällikkö) tulisi ottaa mukaan tiedonkeräämiseen. Rakennuksen huollosta vastaava taho tulee ottaa mukaan laatimaan rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjetta. Tarvitaan digitaalisten palveluiden kehittämistä ja käyttöönottoa kiinteistönpitoon liittyvän tiedon keräämiseen ja hallintaan.

5.2 Tavoitteena terve talo

Kosteusvauriokorjaamisen erityisammattiosaamista ja asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksia on viety ansiokkaasti eteenpäin Suomessa viime vuosina. Kestävän, laadukkaan, terveellisen ja ennaltaehkäisevän rakentamisen edistämiseksi kosteudenhallinnan perusosaamista tulee edistää myös muiden kuin kosteusvaurioihin erikoistuneiden osaajien keskuudessa. Hankkeessa on kehitetty:

- Kosteudenhallintakoulutusta rakennustyöntekijöille
- Terveen talon toteutuksen kriteerejä (erityisesti) rakennuttajille
- Tietoa päättäjille

Kosteudenhallintakoulutus on suunniteltu korttikoulutukseksi, jonka ympärille tavoitellaan liittyvän tulevaisuudessa myös kaupallista koulutustoimintaa. Terveen talon toteutuksen kriteerit pyritään jatkokehittämään Rakennustiedon ohjekorteiksi, jotka niin ikään ovat kaupallisia tuotteita.

5.2.1 Terveen talon toteutuksen kriteerit

Määräysten minimitason (sisäilmastoluokan S3) mukainen rakennuskin tulee rakentaa toimivaksi ja terveelliseksi, mutta Terveen talon toteutuksen kriteereillä pyritään korkeampaan vaatimustasoon ja minimoidaan toteutukseen liittyviä riskejä. Kriteerit ja suositukset ovat uusinta tietoa hyödyntävä tarkastuslista, jonka avulla rakennuttaja voi varmistaa terveen talon toteutuksen. Kriteeristö määrittelee osaltaan hyvää rakennustapaa ja luo yhteisiä pelisääntöjä.

Pelkkä sisäilmastoluokan valinta ei välttämättä ole riittävän tarkkaa tavoitteiden asettamista. Tavoitearvot tulisi asettaa olosuhteille, koska näin tieto kulkee paremmin uudisrakennus- tai korjaushankkeen eri osapuolille ja rakennukselle sekä sen käyttötarkoitukselle sopivia tavoitearvoja voidaan valita eri sisäilmastoluokista. Terveen talon toteutuksen kriteerit ohjaavat määrittelemään sellaiset toimenpiteet, joilla tavoitteiden toteutuminen varmistetaan.

Suosituks

Terveen talon toteutuksen kriteereihin tehdyt päivitykset tulee arvioida asiantuntijaryhmän kesken ja muokata sen jälkeen uusiksi Rakennustiedon ohjekorteiksi korvaamaan aiemmat vuosina 2003 ja 2004 julkaistut RT-ohjekortit.

Terveen talon toteutuksen kriteerejä suositellaan työkaluksi etenkin rakennuttajille. Kiinteistö- ja rakennusalalla toimivat suunnittelutoimistot, urakointiyritykset, konsultit ja muut organisaatiot voivat sisällyttää kriteerit osaksi omia toimintaohjeitaan.

5.2.2 Kosteudenhallintakoulutusta rakennustyöntekijöille

Kosteudenhallintakoulutuksen jatkohanke on jo käynnissä ja pilottikoulutukset suoritetaan vuoden 2017 syksyllä. Koulutuksen vaikuttavuutta ja koulutustilaisuuksista kerättävää palautetta analysoimalla voidaan tarvittaessa tehdä parannuksia koulutuspaketin sisältöön.

Pyrkimyksenä on, että koulutuksen toimintamalli pilotoidaan, pilottikohteista kerätty kokemus ja tulokset julkaistaan, minkä jälkeen toimintamalli otetaan yleiseen käyttöön. Kosteudenhal-

linnan laadunvarmistukseen tehty konkreettinen satsaus tuottaa lisäarvoa hankkeen kaikille osapuolille. Yhdenkin virheen välttäminen voi säästää koko henkilöstön kouluttamiseen käytetyn rahasumman ja ennaltaehkäistä tulevien käyttäjiä terveyshaitoilta.

Eräs keskeisempiä haasteita on varmistaa, että kaikki rakennustyömaalla työskentelevät osallistuisivat koulutukseen. Toimintamalli olisi siksi saatava yhtä yleiseksi kuin työturvallisuuskortin suorittaminen on nykyään.

Suosituks

Rakennushankkeiden tilaajia kehoitetaan ottamaan toimintamalli käyttöönsä. Tilaajien tulee liittää tarjouspyyntöasiakirjoihin vaatimus, että kaikki työmaan työntekijät suorittavat kosteudenhallintakoulutuksen. Koulutusta suositellaan osaksi rakennustyöntekijöiden sekä muiden rakennustyömaalle sijoittuvien toimijoiden peruskoulutusta.

5.2.3 Kosteus- ja homevaurioiden siivous ja irtaimiston puhdistus

Työterveyslaitoksen siivousohjeistus (2016) on melko yleisesti käytössä erityisesti julkisissa kiinteistöissä. Se on suunnattu tilanteisiin, joissa vauriot ovat laajoja tai muuten vakavia. Oikein toteutettu siivous ja irtaimiston puhdistus ovat tärkeä osa hyvin toteutettua korjaushanketta, mikä edesauttaa tilojen käyttäjien palaamista korjattuihin tiloihin. Suomalaiset ohjeet ovat yksityiskohtaisemmat kuin yhdysvaltalaiset ohjeet. Kaikissa ohjeissa linjataan, että desinfiointiaineiden käyttöä ei suositella. Niiden käyttöä voidaan harkita erityistilanteissa, kuten viemäri vahinkojen yhteydessä.

Suosituks

Olemassa olevan ohjeistuksen lisäksi tarvitaan lisää ohjeistusta asuntokohteille sekä isännöitsijöille ja taloyhtiöille sekä lievemmille kosteus- ja homevauriotapauksille ja muille sisäilmaongelmille. Irtaimiston uusimisen periaatteita tulee täsmentää. Lisäksi tulisi varmistaa, että myös yksityishenkilöille olisi tarjolla asianmukaista ja laadukasta siivouspalvelua.

5.3. Käyttöä turvaavat toimenpiteet kosteusvaurioiden hallinnassa

Ilmanpuhdistimet ja niihin liittyvät suositukset

Ilmanpuhdistimilla voidaan vähentää sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksia. Osassa tekniikoista voi syntyä sivutuotteina haitallisia yhdisteitä. Tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat kuitenkin puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille.

Ilmanpuhdistimia **ei tule käyttää** korjausten välttämiseksi tai korvaamaan puutteellista siivousta tai ilmanvaihtoa.

Ilmanpuhdistimia voi käyttää pääasiassa **väliaikaisesti** esim. remonttia odottaessa tai sen aikana suojaamaan viereisiä tiloja, auttamaan herkästyntä esim. palaamaan korjattuun tilaan ja tiloissa, joissa tavallista suurempi hajukuorma. Ilmanpuhdistimien tarve on kuitenkin aina arvioitava tapauskohtaisesti ja ennen ilmanpuhdistimien käyttöönottoa tulee arvioida myös muiden epäpuhtauksien pitoisuuksia alentavien toimenpiteiden toteuttamista.

Tarvitaan yhteinen kriteeristö helpottamaan laitteiden vertailua ja hankintaa.

Biosidien käyttö

Työterveyslaitoksen ja Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitoksen yhteinen kannanotto ja suositukset biosidien käytöstä korjausrakentamisessa ovat pääsääntöisesti hyvät. Biosidien käyttöä ei suositella kuin poikkeustapauksissa, kuten viemäri vahinkojen yhteydessä. Suosituksen varoaikeja tulee täsmentää, mikäli mahdollista biosidikohtaisesti sekä tuuletuksen ja siivouksen osalta. Vakuutusyhtiöiden ohjeistus ja suositukset biosidien käyttöön liittyen tulee selvittää ja lisäksi tulee varmistaa, että eo. kannanoton suositukset ovat myös vakuutusyhtiöiden tiedossa. Yrityksille tulee tarjota yhdenmukaista, puolueetonta koulutusta ja koulutusmateriaalia biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä.

Tiivistyskorjaukset

Hankkeessa toteutettu kyselytutkimus osoitti, että tiivistyskorjaukset ovat yleistyneet. Kyselyn ja seminaarien perusteella tiivistyskorjauksiin suhtaudutaan pääasiassa asiallisesti ja uuden menetelmän edellyttämällä varovaisuudella. Kirjallisuuskatsauksessa ei ilmennyt teknisiä esteitä tiivistyskorjausten toteuttamiselle.

Tiivistyskorjaukset ovat hyvä ratkaisu tietyissä käyttökohteissa, mutta ne eivät sovellu kaikille rakenteille, eivätkä vaurioituneiden materiaalien poistoon perustuvan homevauriokorjauksen vaihtoehtona. Rakenteita tulee milloinkaan tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa ja seurantaa. Usein sopivin korjausmenetelmä on vaurioituneiden rakenteiden korjaus- ja tiivistystoimenpiteiden yhdistelmä. Tällöin mahdollisen konsultin ja korjaussuunnittelijan asiantuntemus ovat avainasemassa.

Seminaareissa pohdittiin tiivistyskorjausten mahdollisuuksia ja heikkouksia. Seminaareissa nousi esiin myös keskustelua laadunvarmistustoimenpiteistä, joista keskeisimmät ovat merkkiainekokeet ja henkilösertifiointi. Laadunvarmistukseen liittyvät toimenpiteet tulisi ottaa huomioon jo hanke- ja ehdotussuunnitteluvaiheissa, koska niiden merkitys korostuu tiivistyskorjauksissa.

5.4 Tutkimus- ja jatkotoimenpidetarpeet

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli selvittää, millaisia tutkimustarpeita eri aihealueilla on. Tutkimustarpeita ovat:

- Selvittää seurantatutkimuksilla, mitkä tekijät selittävät kosteusvaurion ja astman välisen yhteyden sekä kvantitoida näiden tekijöiden ja astman annos-vaste suhdetta, jotta jatkossa kosteusvaurioille voitaisiin luoda terveysperusteinen toimenpideraja. Eri-tyisen kiinnostavaa on karakterisoida tarkemmin kosteusvaurioihin liittyvää mikrobikasvua ja muita haitta-aineita.
- Selvittää eri sisäilmatekijöiden (mikrobikasvu, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, erilaiset allergeenit, puutteellinen ilmanvaihto, lämpötila, RH, mineraalikuudit) yhteisvaikutuksia koettuun oireiluun. Tämä vaatisi tutkimusta, jossa kaikkia edellä mainittuja tekijöitä mitattaisiin samassa tutkimuksessa toistuvasti mielellään useamman kuukauden ajan, mielellään useassa rakennuksessa, ja seurattaisiin käyttäjien koettua oireilua. Parhaassa tapauksessa sisäilman laatua tulisi pystyä koeluonteisesti muuttamaan.
- Sisäilmaan yhdistettyihin haittoihin ja oireiluun vaikuttavat sisäilmatekijöiden lisäksi erittäin monet yhteisölliset sekä yksilölliset tekijät, joita on selvitetty puutteellisesti

Suomessa. Näitä tekijöitä voi selvittää sekä havainnoivalla tutkimuksella että kokeellisesti. Tärkeää olisi myös selvittää, voidaanko koettuja haittoja vähentää myös Suomessa esimerkiksi lisäämällä käyttäjien mahdollisuutta osallistua sisäilman laadun säätelyyn tai tehokkaalla viestinnällä.

- Selvittää ympäristöherkkyyden yleisyyttä, riskitekijöitä ja hoitomahdollisuuksia Suomessa ja yhtymäkohtia toiminnallisiin häiriöihin. Selvittää siivouksen ja siivouskemikaalien vaikutusta altistumiseen ja ihmisten terveyteen.
- Selvittää lisää ilmanpuhdistimien tehokkuutta vähentää sisäilman epäpuhtauksista aiheutuvia terveyshaittoja.
- Selvittää biosidien ja otsonoinnin hyötyä ja tehoa korjausrakentamisen yhteydessä.
- Selvittää biosidikäsittelyjen vaikutusta rakennuksen mikrobiomiin ja ihmisten terveyteen.
- Selvittää laadukkaan, terveellisen ja kosteusturvallisen rakentamisen tuottamaa rakennuksen taloudellista arvonlisäystä, mikä edellyttäne rakennushankkeen onnistumisen ja sisäilman laatutekijöiden mittaroinnin kehittämistä.
- Selvittää tarpeita ja mahdollisuuksia rakennustyöntekijöille suunnatun kosteudenhallintakoulutuksen laajentamisesta myös muiden rakentamisen ja kiinteistönpidon osapuolten perus- ja jatkokoulutukseen sekä tehdä tarvittaessa muutoksia koulutusmateriaaliin.
- Arvioida eritasoisten ilmavuotojen merkitystä käyttäjien altistumisriskiin laskennallisesti ja kokeellisesti eri paine-eroissa; mahdollisuuksien mukaan kenttämittauksilla ja/tai laboratoriokokeilla osoittaa yhteys virtauslaskelmilla arvioitujen erikokoisten partikkelien pitoisuuteen sisäilmassa.
- Selvittää tiivistämiskorjausten onnistuminen ja käyttöikä toteutetuissa kohteissa.
- Selvittää tiivistämiskorjausten vaikutukset sisäilman laatuun ja käyttäjien terveyteen sekä kokemuksiin.
- Arvioida tiivistämiskorjausten sopivuutta eri rakennetyypeille.

Hanke tuotti lukuisia suosituksia, jotka tulee jalkauttaa kuntiin ja eri toimijoille. Tutkimus- ja ohjausryhmä ehdottavat suluissa olevia tahoja (alla) ottamaan vastuun seuraavien ohjeistusten tai toimintatapojen päivittämisestä, kehittämisestä tai valmistelusta:

- Ohjeistusta toimenpiteiden ja niiden kiireellisyyden määrittelyyn ja korjauskohteiden väliseen priorisointiin (STM, YM)
- Prosessikuvausmalli kunnan sisäisten vastuiden ja roolien määrittelyyn sisäilmaongelmien hoitamisessa - mallia kunnista, joissa vastaava jo tehty (Kuntaliitto)
- Ohjeistusta sisäilmaongelmien selvittämiseen THL:n, STM:n ja Kuntaliiton kyselyssä todettujen kipukohtien ja prosessin alkuvaiheeseen osalta (Kuntaliitto)
- Kuntotutkimusraportointimallin täsmentäminen siltä osin, että kuntotutkimusraporteissa arvioitaisiin aiempaa paremmin havaintojen merkitystä käyttäjien altistumisen kannalta (YM).

- Esimerkiksi laaditaan kuntotutkijoille altistumisen arviointiin ja tulosten raportointiin keskittyvä helposti luettava tiivistelmä perustuen kuntotutkimusoppaaseen YO 2016 ja TTL:n ohjeeseen (Lappalainen ym. 2016)
- Ohjeistusta lääkäreille terveydellisen merkityksen arviointiin (STM)
- Kouluterveydenhuollon roolin täsmentäminen (STM)
- Tietopaketti käyttäjille (opettajat, muu henkilökunta, oppilaat ja heidän vanhempansa) siitä, miten toimia ja mitä odottaa, kun koulussa epäillään tai on havaittu sisäilmaongelmia (STM, Kuntaliitto, YM)
- Toimintamalli jatkuvaan tiedonkeruuseen ennakoivassa kiinteistönpidossa (YM)
- Tulkintaohjeet niin merkkiainekokeiden kuin kuntotutkimustenkin tulosten tulkintaan – minkä verran ilmapuotoja voidaan sallia (YM, STM)
- Ohjeistusta asuntokohteille, isännöitsijöille ja taloyhtiöille sekä lievemmillä kosteus- ja homevauriotapauksille ja muille sisäilmaongelmille kosteus- ja homevaurioiden siivoukseen liittyen (STM)
- Ohjeistusta irtaimiston uusimisen periaatteiden täsmentämiseen kosteus- ja homevaurioiden siivoukseen liittyen (STM).
- Yhteinen kriteeristö helpottamaan ilmapuhdistuslaitteiden vertailua ja hankintaa (STM)
- Koulutusmateriaali biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä (STM)

Tutkimus- ja ohjausryhmä ehdottavat myös, että STM ja Kuntaliitto tunnistavat tahot, jotka voivat valmistaa ohjeistusta ja järjestää koulutusta lääkäreille terveydellisen merkityksen arviointiin (STM), järjestää rehtoreille koulutusta ja tukea heidän roolistaan koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa (STM ja Kuntaliitto) sekä biosideja käyttäville yrityksille koulutusta ja koulutusmateriaalia biosidien ominaisuuksista ja niiden turvallisesta käytöstä (STM). Tarvitaan myös taho, joka voi selvittää vakuutusyhtiöiden ohjeistuksen ja suositukset biosidien käyttöön liittyen (STM).

LÄHDELUETTELO

Alastalo, T (2013). Kuntien kiinteistöjen hallinta kosteusvaurionäkökulmasta. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto.

BUILD UP Skills Finland – lisää energiaosaamista rakennustyömaille. <https://www.motiva.fi/buildupskills>

Burr ML, Matthews IP, Arthur RA ym. (2007). Effects on patients with asthma of eradicating visible indoor mould: a randomised controlled trial. *Thorax*. 62:767-72

Casas L, Tischer C, Täubel M (2016). Pediatric Asthma and the Indoor Microbial Environment. *Curr Environ Health Rep*. 3(3):238-49.

Fisk WJ, Lei-Gomez Q, Mendell MJ (2007). Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes. *Indoor Air*. 2007 Aug;17(4):284-96.

Fisk WJ, Eliseeva EA, Mendell MJ (2010). Association of residential dampness and mold with respiratory tract infections and bronchitis: a meta-analysis. *Environ Health*. 15;9:72.

Hekkanen, M (2006). Kosteus- ja homeongelmien havaitseminen, korjaus ja ehkäisy kuntien rakennuksissa. Kuntaliitto.

Helsingin Sanomat (16.4.2008). Puhdasta ilmaa, mutta äänekkäästi. Hintaja Laatu D1.

Helsingin Sanomat (25.4.2012). Joko loppuisi niistäminen. Kuluttaja D1.

Hometaalkoot 2013. Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa. <http://www.hometaalkoot.fi/file/15838.pdf>

Hometaalkoot 2016. Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje. <http://www.hometaalkoot.fi/file/15921.pdf>

Hurraß J, Heinzow B, Aurbach U ym. (2016). Medical diagnostics for indoor mold exposure. *Int J Hyg Environ Health*. 2016 Dec 5. pii: S1438-4639(16)30561-2.

Huttunen K, Pelkonen J, Nielsen KF ym. (2004). Synergistic interaction in simultaneous exposure to *Streptomyces californicus* and *Stachybotrys chartarum*. *Environ Health Perspect*. 112(6):659-65.

Institute of Medicine (US) Committee on Damp Indoor Spaces and Health. Damp indoor spaces and health. Washington: National Academy of Sciences 2004

Institute of Medicine (IOM) 2000. Clearing the Air: Asthma and Indoor Air Exposures. Committee on the Assessment of Asthma and Indoor Air, Division of Health Promotion and Disease Prevention.

Jaakkola MS, Quansah R, Hugg TT ym. (2013). Association of indoor dampness and molds with rhinitis risk: a systematic review and meta-analysis. *J Allergy Clin Immunol*. 132:1099-110.e18

Kanchongkittiphon W, Mendell MJ, Gaffin JM ym. (2015). Indoor environmental exposures and exacerbation of asthma: an update to the 2000 review by the Institute of Medicine. *Environ Health Perspect*. 123:6-20.

Karvonen AM, Hyvärinen A, Roponen M ym. (2009) Confirmed moisture damage at home, respiratory symptoms and atopy in early life: a birth-cohort study. *Pediatrics*. 124:e329-38.

Karvonen AM, Hyvärinen A, Korppi M ym. (2015). Moisture damage and asthma: a birth cohort study. *Pediatrics*. 135:e598-606.

Kercsmar CM, Dearborn DG, Schluchter M ym. (2006). Reduction in asthma morbidity in children as a result of home remediation aimed at moisture sources. *Environ Health Perspect*. 114:1574-80.

- Kero, P (2011). Kosteus- ja homevauriokorjausprosessin arviointi kuntien kiinteistöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Kero, P (2016). Korjaa ajoissa ja säästä – Ennakoivan korjaamisen kustannussäästöt. Ympäristöministeriö.
- Korkalainen M, Täubel M, Naarala J ym.(2017). Synergistic proinflammatory interactions of microbial toxins and structural components characteristic to moisture-damaged buildings. *Indoor Air*. 27(1):13-23.
- Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas (online). Suomalaisen Lääkäriseura Duodecimin asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2016 (viitattu 27.03.2017). Saatavilla internetissä: www.kaypahoito.fi
- Kuivaketju10 rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli. <http://kuivaketju10.fi>
- Lahtinen, M, Lappalainen, S, Reijula, K (2006). Sisäilman hyväksi. Toimintamalli vaikeiden sisäilmaongelmien ratkaisuun. Työterveyslaitos.
- Laihonen, H, Hannula M, Helander N ym. (2013) Tietojohdaminen. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Laki terveydensuojelulain muuttamisesta 1237/2014. Annettu Helsingissä 1912.2014.
- Lappalainen, S, Lahtinen, M, Hapuoja P ym. (2010). Sisäympäristöongelmien ratkaiseminen kuntien rakennuksissa. Ohje toimintatavoista sisäympäristöongelmia hoitaville ryhmille ja henkilöille. Kuntaliitto.
- Lappalainen, S, Reijula, K, Tähtinen, K ym. (2016). Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos. <https://www.julkari.fi/handle/10024/129932>
- Leppänen H, Peltonen M, Komulainen H, Hyvärinen A (2017). Otsonointi sisäympäristöissä – kirjallisuuskatsaus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-837-1>
- Louhelainen K, Santonen T, Moisa J, Stockmann-Juvala H, Pennanen S, Lapinlampi T (2016). Bio-sidit ja korjausrakentaminen. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-632-6>(PDF)
- Mendell MJ, Mirer AG, Cheung K ym. (2011). Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence. *Environ Health Perspect*. 119:748-56.
- Myyryläinen, L (2003). Kiinteistön kunnossapidon ja elinkaaren hallinta. Suomen kiinteistöliitto.
- Norbäck D, Zock JP, Plana E ym. (2011). Lung function decline in relation to mold and dampness in the home: the longitudinal European Community Respiratory Health Survey ECRHS II. *Thorax*. 66(5):396-401
- Norbäck D, Zock JP, Plana E ym (2013). Mould and dampness in dwelling places, and onset of asthma: the population-based cohort ECRHS. *Occup Environ Med*. 70:325-31.
- Pekkanen J, Hyvärinen A, Haverinen-Shaughnessy U ym. (2007). Moisture damage and childhood asthma: a population-based incident case-control study. *Eur Respir J*. 29:509-15.
- Pekkanen J, Lampi J (2015). Rakennusten kosteus- ja homevauriot ja terveys. *Duodecim* 131:1749-55.
- Pekkola, V, Metiäinen, P, Mussalo-Rauhamaa, H ym. (2011). Kehitysehdotuksia kuntien julkisten rakennusten sisäilmaongelmien vähentämiseksi ja ennaltaehkäisemiseksi. Ympäristöministeriö.
- Pitkäranta, M (Toim.) (2016). Ympäristöopas 2016: Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>
- Quansah R, Jaakkola MS, Hugg TT ym. (2012). Residential dampness and molds and the risk of developing asthma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 7:e47526.
- Rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessi. <http://kosteudenhallinta.fi>

RT 07-10805 (2003). Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet toimitilarakentamiselle. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 07-10832 (2004). Terveen talon toteutuksen kriteerit. Kriteerit ja ohjeet asuntorakentamiselle. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 07-10946 (2009). SISÄILMASTOLUOKITUS 2008 Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS.

RT 14-11197 (2015). Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö RTS.

Salonen, H, Lahtinen, M, Lappalainen, S ym. (2015). Kosteus- ja homevauriot – Ratkaisuja työpaikoille. Työterveyslaitos.

Sauni R, Verbeek JH, Uitti J ym. (2015). Remediating buildings damaged by dampness and mould for preventing or reducing respiratory tract symptoms, infections and asthma. Cochrane Database Syst Rev. (2):CD007897.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Annettu Helsingissä 23.4.2015.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Korjausrakentaminen [verkkajulkaisu]. ISSN=1799-2958. Rakennusten Ja Asuntojen Korjaukset 2015. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 7.2.2017].

Suunnitelmallinen kiinteistönpito. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Suunnitelmallinen_kiinteistonpito

Tischer C, Chen CM, Heinrich J (2011a). Association between domestic mould and mould components, and asthma and allergy in children: a systematic review. Eur Respir J. 38:812-24.

Tischer CG, Hohmann C, Thiering E ym. (2011b), Meta-analysis of mould and dampness exposure on asthma and allergy in eight European birth cohorts: an ENRIECO initiative. Allergy. 2011 Dec;66(12):1570-9.

TM Rakennusmaailma (4/12). Tiukkaa tietoa puhdistustehoista.

Työterveyslaitos 2011. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. <http://www.hometalkoot.fi/file/15813.pdf>

Työterveyslaitos 2016. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. <http://www.hometalkoot.fi/file/15862.pdf>

Ung-Lanki, S, Turunen, M, Hyvärinen, A (2017) Kuntien toimintatavat koulujen sisäilmaongelmien hallinnassa ja toimenpiteiden kiireellisyyden arvioinnissa. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-836-4>

Vehmaskoski, T (2013). Rakennetun omaisuuden tila 2013. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Vinha, J (2009). Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakentajain kalenteri 2009. Rakennustieto.

von Mutius E, Vercelli D (2010). Farm living: effects on childhood asthma and allergy. Nat Rev Immunol. 10(12):861-8.

WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Geneva: World Health Organization 2009.

LIITE 1. KORJAUSTEN JÄLKEISEN SIIVOUKSEN VAIKUTUS - KIRJALLISUUSKATSAUS

Ulla Haverinen-Shaughnessy, THL

Aiheesta on tehty vähän tutkimusta. Näin ollen katsauksessa käytiin läpi myös Suomessa ja muissa maissa annettu ohjeistus siivoukselle.

1. Yhteenveto Suomessa käytetyistä ohjeista rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle

Katsauksessa tarkasteltiin Suomessa käytettyjä ohjeita rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle kosteus- ja homevauriokohteissa. Korjausten jälkeistä siivousta on käsitelty ohjeissa "Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje" /1/, "Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen" /2/ ja "Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa" /3/.

Puhdistustyö osana korjaushanketta /1/

Kosteus- ja homevaurioiden korjausten erityispiirteiden takia puhdistustoimet otetaan huomioon koko työmaata koskevilla suunnitelmissa. Korjaussuunnitelmissa otetaan huomioon myös se, missä korjattavan tilan irtaimisto säilytetään tai miten se suojataan korjausten ajan ja se, miten ja missä irtaimisto puhdistetaan ennen uudelleen käyttöönottoa. Jos mahdollista, homevaurioiden purku- ja puhdistustyöt tehdään kerralla koko työmaan laajuisesti ennen varsinaisen korjausrakentamisen aloittamista, mikä helpottaa epäpuhtauksien hallintaa työmaalla ja parantaa korjaustyönaikaisia työskentelyolosuhteita. Tärkeä osa kokonaispuhdistusta on puhdistustoimenpiteiden ja -olosuhteiden dokumentointi.

Ohjeessa käsitellään rakennusmateriaalien yleiset puhdistusmenetelmät: vaurioituneen pintakerroksen poisto mekaanisesti, pinnan puhdistaminen liasta ja pölystä, hajujen poisto ja desinfiointi. Lisäksi käsitellään eri rakennusmateriaaleille sopivia puhdistustapoja.

Oikein toteutettu siivous helpottaa ja nopeuttaa tilojen käyttöönottoa ja tilanteen palaamista normaaliksi /2/

Homevaurioituneissa rakennuksissa sisäilmaan kulkeutuu usein homepölyä ja homeiden aineenvaihduntatuotteita, joista osa tunnistetaan hajuina. Homepöly koostuu itiöistä ja rihmaston kappaleista ja homeen haju erilaisista kaasumaisista kemiallisista yhdisteistä.

Homevaurioituneiden rakenteiden purkamisen ja korjaamisen aikana homepölyn määrä sisäilmassa kasvaa merkittävästi. Homepölyn leviäminen korjattavasta tilasta ympäröiviin tiloihin vähenee esim. korjattavan tilan osastoinnilla ja alipaineistuksella. Kosteus- ja homevauriokorjauksen viimeisenä vaiheena rakennussiivouksen jälkeen tehdään siivous ja irtaimiston puhdistus. Hyvin ja oikein toteutettu siivous helpottaa ja nopeuttaa tilojen käyttöönottoa ja tilanteen palaamista normaaliksi.

Siivouksen periaatteet, aikataulu ja valvonta

1. Pölyn leviämistä estetään kosteus- ja homevaurioiden purku- ja korjaustöissä
 - Siirtämällä irtotavut kalusteet, materiaalit ja helposti irrotettava sisustus puhdistettavaksi sellaisiin tiloihin, joissa ei ole kosteus- ja homevaurioita. Puhdistetut tavarat tuodaan takaisin tilaan vasta korjausten ja loppusiivouksen jälkeen.

- Huolehtimalla, ettei vaatteiden ja jalkineiden mukana kulkeudu likaa/epäpuhtauksia puhtaisiin tiloihin: estämällä lian kulkeutumien puhtaille alueille vaihtomattojen tai tarramattojen avulla ja tarvittaessa vaihtamalla työvaatteet ja varusteet erillisissä sulkuhuoneissa.
- Sulkemalla koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä korjausalueelta.
- Osastoimalla purkualue erilleen muista tiloista purkutöiden aloittamisesta homesiivouksen lopettamiseen asti.

2. Siivouksen aikataulu

- Normaali rakennussiivous tehdään korjausten lopettamisen jälkeen. Ilmanvaihtolaitteiden ja kanavien puhdistus tehdään tarvittaessa: mikäli niissä on ollut mikrobikasvua, niihin on päässyt homepölyä tai edellisestä puhdistuksesta on kulunut yli viisi vuotta.
 - Ilmanvaihtojärjestelmän suodattimet vaihdetaan ja puhdistetaan (päätelaitteet).
 - Tilat siivotaan pölyttömiksi ilmanvaihtojärjestelmän puhdistuksen jälkeen. Pölyttömäksi siivous ajoitetaan vähintään kahdelle eri päivälle. Ensimmäisenä päivänä suoritetaan imurointi ja toisena pyyhintä.
3. Pölyttömäksi siivouksen jälkeen ilmanvaihto säädetään, sen toiminta testataan ja se käynnistetään.
4. Korotettua siivoustasoa ylläpidetään 1-2 kuukauden ajan.

Siivouksessa noudatetaan samoja periaatteita kuin muissakin perusteellisissa siivouksissa. Erona normaaliin perusteelliseen siivoukseen on siivoojan suojautuminen hengityksen-suojaimella ja suojavaatteilla sekä HEPA- suodattimilla varustettujen pölynimureiden käyttö.

Siivousjärjestys

Oikealla siivousjärjestyksellä estetään pölyn ja lian siirtyminen tiloista toisiin. Tämä edellyttää seuraavia seikkoja: jätteiden käsittely on asianmukaista, kulkua siivottujen ja siivoamattomien tilojen välillä rajoitetaan, huoneet siivotaan yksi kerrallaan ja käytävä siivotaan viimeiseksi. Siivouksessa edetään puhtaammasta tilasta likaisempaan päin, siivoaminen tehdään ylhäältä alaspäin (myös alas lasketut katot, niiden pinnat ja yläpuolinen tekniikka), siivousvälineet vaihdetaan tai puhdistetaan siirryttäessä tilasta toiseen ja siivotut tilat merkitään sekä suojataan pölyn leviämiseltä.

Irtaimiston puhdistamisen vaiheet ja periaatteet

Irtaimisto tulee siirtää pois homevaurioituneista tiloista jo ennen purku- ja korjaustöiden aloittamista. Irtaimiston puhdistamiseen käytettävä alue on kokonaisuudessaan eristettävä muista tiloista väliaikaisilla osastoivilla suojaseinillä tai riittävä osastointi varmistetaan muulla vastaavalla toimenpiteellä. Puhdistustilan ilmanvaihto järjestetään koneellisesti siten, että puhdistustila on alipaineinen ja puhdistustyössä mahdollisesti irtoava pöly johdetaan suodattimella varustetun puhaltimen kautta ulos. Korvausilma puhdistustilaan tulee järjestää mieluiten suodattimen läpi (HEPA-suodatus / vähintään F7 suodatin).

Puhdistustilaan siirretään irtaimistoa siten, että työskentelylle jää riittävästi tilaa. Puhdistettu irtaimisto siirretään heti puhdistuksen jälkeen puhtaisiin, vauriottomiin tiloihin. Puhdistustila siivotaan puhdistettavien irtaimistoerien välillä.

Kaikki selvästi homehtunut tavara, jossa on homepilkkuja tai pintahometta sekä selvästi homeelle haisevat tavarat uusitaan. Mikäli kalusteissa tai tavaroissa ei ole hometta tai selvää hajua, riittää yleensä perusteellinen puhdistus. Mikäli puhdistuksen jälkeen huomataan ko.

kalusteiden tai tavaroiden aiheuttavan oireita, kannattaa ne silloin uusia kokonaan. Asiakirjojen ja arvotavaran asianmukaisista jatkotoimenpiteistä tulee erikseen neuvotella. Kovista pinnoista homepölyn puhdistaminen on helpompaa kuin pehmeistä pinnoista, joihin homeen hajukin tarttuu vahvemmin. Ohjeessa annetaan erilliset ohjeet seuraavien tavaroiden puhdistukseen: tekstiilit, pehmeät pinnat, elektroniset laitteet, ATK-laitteet ja arkistomateriaalit.

Sellaisten rakennneosien puhdistaminen, joita ei voida poistaa /3/

Lähtökohtana on, että rakennusmateriaalissa olevat elävät ja kuolleet mikrobit, kuten home itiöineen ja rihmastonkappaleineen, bakteerisolut, hiivat ja levät saadaan poistetuksi mahdollisimman hyvin. Materiaalia ei voida poistaa tyypillisesti silloin, kun se on osa rakennusta kannattelevaa nk. kantavaa rakennetta tai siitä on rakennettu paksuja, vaikeasti purettavia rakenteita. Kun em. rakenteista on vaurioitunut vain pintakerros, ne puhdistetaan mekaanisesti poistamalla pintakerrosta terveeseen materiaaliin saakka. Ohjeessa on mainittu seuraavat materiaalit, joiden pintakerrosta on käsitelty edellä mainitulla tavalla: betoni, savi- ja kalkkihiekkatiili, kevytbetoni, kevytsorabetoni (kiviaineiset materiaalit), massiivi-, liima-, kertopuu ja vanerit (huokoiset ja runsasravinteiset materiaalit), sekä polyuretaani- ja polystyreenieristeet (umpisoluiset solumuovieristeet).

Homevaurio tai haitta-ainekorjausten erityispiirteinä on käsitelty työturvallisuuskäsitteitä, puhdistustoimenpiteiden mitoittamista ja riskejä, puhdistustoimien suunnittelua, toteutusta ja valvontaa, puhtauden hallintaa sekä tyypillisiä homevauriokorjauksen epäonnistumiseen johtavia syitä. Ohjeen mukaan tärkeimpiä keinoja epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi on käyttää sellaisia työmenetelmiä, joissa pölyä syntyy mahdollisimman vähän. Verrattuna siivousohjeeseen /2/ joitakin lisätoimenpiteitä on esitetty, kuten

- Työmaajärjestelyjen suunnittelu mahdollisuuksien mukaan siten, että likaisten ja puhtaiden tilojen välille ei tule työmaan aikaista kulkua vaan kulku likaiselle alueelle toteutetaan esimerkiksi suoraan ulkokautta
- Tarpeetonta tavaroiden siirtelyä tai henkilöliikennettä puhtaan ja likaisen tilan välillä vältetään
- Likaisesta tilasta puhtaaseen tilaan vietävät tavarat suojataan ensin esim. muovisäkkiin tai puhdistetaan huolellisesti sulkutilassa
- Harjan sijaan käytetään lastaa ja imuria
- Työskentelytila pyritään pitämään koko työskentelyajan mahdollisimman puhtaina.

2. Muissa maissa annettuja ohjeita rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle

Hankkeessa selvitettiin myös muissa maissa käytettyjä ohjeita rakennuksen siivoamiselle ja irtaimiston puhdistamiselle kosteus- ja homevauriokohteissa. Internetin kautta hakemalla löytyi ohjeita lähinnä Yhdysvalloista.

Institute of Inspection Cleaning and Restoration Certification (IICRC)

Uusi ANSI/IICRC S520-2015 -standardi /4/ käsittelee toimintatapoja rakennusten homevauriokorjauksissa mukaan lukien myös niihin kuuluvat järjestelmät ja irtaimiston. Standardi on suunnattu korjauksia suorittaville tahoille. Tilat on määritelty mikrobiologisen tilanteen mukaan kolmeen luokkaan: 1) tila, jossa vallitsee normaali mikrobiologia, 2) tila, jossa on vaurioista peräisin olevia homeitiöitä ja fragmentteja ja 3) tila, jossa esiintyy mikrobikasvua. Pääkorjausperiaatteena on vaurioituneiden materiaalien poisto. Mikrobin myrkyttämistä, kapselointia tai mikrobin leviämisen estämistä muilla tavoilla ei pidetä riittävänä. Korjattujen rakenteiden voidaan katsoa olevan kunnossa, kun niissä ei esiinny kontaminaatiota eikä likaa ja kun pinnat ovat silmin nähtäessä puhtaita pölystä. Lisäksi korjatuissa tiloissa ei saisi esiintyä

homeen hajua. Tällöin rakenteen, järjestelmien ja irtaimistojen katsotaan palanneen luokkaan 1. Tämän tilanteen toteaminen (korjausten jälkitarkastus) tulisi tehdä korjauksen tekijästä riippumattoman tahon toimesta.

Kosteusvaurion syy tulee korjata, jotta ongelma ei toistu. Materiaalit, jotka voidaan säästää, tulee kuivata hyväksyttävään kosteuspitoisuuteen. Standardi käsittelee myös vaurioiden tutkimista ja korjauksen toteutusta ml. korjausten tekijöiden pätevyys, työterveys ja turvallisuus, hallinnolliset toimenpiteet (dokumentointi, riskinhallinta, sopimuskysymykset), vaurioiden tutkiminen ja arviointi, rajoitukset ja ristiriidat. Korjauksen suunnitteluun kuuluu suojaukset, paineolosuhteiden hallinta, haitallisten aineiden käsittely, turvallisuus ja terveys, kontaminoituneiden materiaalien käsittely, siivous, jätteiden poisto, korjausten jälkitarkastus sekä suojausten poisto.

Huokoiset materiaalit (kuten eristeet), joissa on mikrobikasvua, tulee standardin mukaan poistaa, mutta muut materiaalit (kuten puu) voidaan HEPA-imuroida ja puhdistaa. Pienet homekasvustot ei-huokoisilla materiaaleilla voidaan yleensä poistaa HEPA-imurilla ja kosteapyyhinnällä. Märkäpesua tulee mahdollisuuksien mukaan välttää. Kostuneet materiaalit tulee kuivata. Työssä tulee käyttää tarkoituksenmukaisia siivoustapoja, joiden avulla minimoidaan pölyn muodostuminen ja leviäminen. Materiaalien tarpeetonta rikkomista tulee välttää. Materiaalit tulee käsitellä mahdollisimman lähellä kontaminaation lähdettä sen leviämisen estämiseksi. Sähkösahan tms. pölyä levittävien sähkötyökalujen käyttöä ilman kohdepoistoa tulee välttää. Työskentelyalueet tulee pitää pölyttöminä ja jätteet tulee pakata välittömästi. Purkujätettä ei tarvitse pakata, jos sen voi viedä suoraan ulos tilasta. Uusia materiaaleja ei tulisi asentaa ennen jälkitarkastusta, mutta jos sitä ei voida välttää, tulee myös uudet materiaalit puhdistaa.

Varsinaista siivousta käsittelee standardin kappale 12.2.9. Sen mukaan HEPA-imurilla ja kosteapyyhinnällä suoritettava siivous tulee aloittaa puhtaimmista alueista ja edetä likaisimpia alueita kohti, ylhäältä alaspäin sekä korvausilman lähteestä poistoon päin. Myös mahdolliset sulkutilat tulee siivota. Kontaminoituneiden materiaalien poisto on suositeltavaa, biosidien ja homeenestoaineiden käyttöä tulee välttää. Niiden käyttöä tulee harkita vain erikoistapauksissa ja niiden käytön tulee perustua asiantuntijan arvioon. Käytössä tulee noudattaa em. aineita koskevia lakeja ja määräyksiä. Homeenestoaineiden käyttö voi vaikeuttaa jälkitarkastusta, jos ongelman poistumista ei voida homeenestoaineista johtuen varmuudella todentaa.

Irtaimiston säilyttämiseen ja mahdolliseen käsittelyyn vaikuttaa tilan kontaminaation laajuus, mikrobiologista tilaa kuvaava luokka (1-3, kts. edellä) sekä irtaimiston materiaalin ominaisuudet (huokoisuus). Muita päätöksiin vaikuttavia tekijöitä ovat irtaimiston arvo, tarvittavat toimenpiteet (esim. voidaanko puhdistaa paikan päällä), erikoisammattilaisten tarve (esim. taideteokset, harvinaiset kirjat, korvaamaton tunnearvo, yms.) sekä näytteenottoon, analyysiin ja puhtauden arviointiin liittyvät tekijät. Mikäli irtaimiston puhdistamisella ei voida varmuudella saavuttaa luokkaa 1, tulee omistajan tehdä lopullinen päätös irtaimiston säilyttämisestä tai hävittämisestä.

Ennen kuin irtaimistoa siirretään kontaminoituneelta alueelta pois, tulee tehdä inventaario, joka sisältää dokumentoidun arvion kunnosta esim. valokuvaamalla. Inventaariossa listataan ja numeroidaan kukin esine, niiden lukumäärä ja kontaminaatio (luokat 1-3) sekä sijainti. Inventaario esitetään tilaajalle hyväksyttäväksi, jonka jälkeen vastuu irtaimistosta siirtyy työn tekijälle. Irtaimiston hävittämiselle on saatava kirjallinen lupa. Mikäli irtaimisto kontaminoituu käsittelyn tai kuljetuksen yhteydessä, on ne puhdistettava sovitulle tasolle. Puhdistustyön tavoitteena on saavuttaa edellä esitetty luokka 1. Puhdistustyö voidaan tehdä tilanteen mukaan joko ulkona tai erillisessä kammiossa. Irtaimiston puhdistamiseen käytetään tarkoituksenmukaisia menetelmiä. Näitä ovat mm.

- HEPA-imuointi
- Ilmapuhallus (ulkona tai erillisessä ilmastoidussa tilassa)
- Veden avulla (painepesua tulee käyttää rajoitetusti esim. ulkona, kun lian leviämisestä ei ole haittaa)
- Lian mekaaninen poisto (lian ja pölyn leviäminen huomioitava).

Huokoiset materiaalit, joissa esiintyy mikrobikasvua (luokka 3) eivät ole yleensä puhdistettavissa luokkaan 1. Irtaimisto, missä on vauriosta peräisin olevaa homepölyä (luokka 2), voidaan useimmiten puhdistaa käyttäen soveltuvia menetelmiä. Näitä ovat tyypillisesti HEPA-imuointi ja pehmeä harjaus. Ilmapuhallusta voi harkita, jos on mahdollista käyttää erillistä työskentelytilaa suojauksineen. Puhdistuksen tulee alkaa ja loppua HEPA-imuoinnilla. Eikontaminoituneet huokoiset materiaalit on suojattava korjaustyön ajaksi kontaminaation välttämiseksi.

Puolihuokoiset materiaalit, joissa on vaurioista peräisin olevaa homepölyä (luokka 2), voidaan useimmiten puhdistaa käyttäen soveltuvia menetelmiä. Puolihuokoiset materiaalit, joissa on mikrobikasvua (luokka 3), voidaan puhdistaa, mutta niihin saattaa jäädä värjäytymiseen tai vaurioitumiseen viittaavia jälkiä. Kovat materiaalit (luokat 3 ja 2) voidaan useimmiten puhdistaa.

Korjausten jälkeinen arviointi perustuu yleensä aistinvaraiseen tarkastukseen. Korjaus katsotaan tehdyksi, kun tilassa ei ole vaurioituneita (epäpuhtaita) materiaaleja tai irtaimistoa eikä pinnoilla ole pölyä. Jäljellä olevan irtaimiston tulee olla luokassa 1. Pinnan puhtautta voidaan tarkastella silmämääräisen tarkastelun lisäksi myös esim. pyyhkimällä pintaa valkoisella pyyhkeellä. Mikäli materiaaleja ei voida puhdistaa luokkaan 1, tulee ne hävittää omistajan luvalla tai omistajan on otettava kontaminoituneet materiaalit vastatakseen. Kokolatiamattojen puhdistusta sekä (kangas) päällysteiden puhdistusta käsitellään erillisissä standardeissa (IIRCR S100 sekä S300).

Erityisissä tilanteissa voidaan vaatia korjausten onnistumisen varmistamista ulkopuolisen sisäympäristöasiantuntijan toimesta. Ulkopuolinen asiantuntija voi käyttää subjektiivisten havaintojen lisäksi objektiivisiä mittauksia (esim. kosteusmittauksia) ja ympäristönäytteenottoa. Tehdyt korjaukset ja sen päättymisen dokumentoidaan.

New York City Department of Health and Mental Hygiene

New York Cityn ohje homevaurioiden arvioinnista ja korjaamisesta vuodelta 2008 on tarkoitettu rakennusten omistajille, käyttäjille, korjaajille ja konsulteille. /5/ Korjauksen pääperiaatteet ovat samoja kuin muissakin dokumenteissa. Korjaustarve voidaan useimmiten arvioida aistinvaraisen tarkastuksen perusteella, näytteenottoa ei yleensä tarvita. Puhdistukseen liittyvät ohjeet ovat pääpiirteissään samat kuin uudessa IIRCR standardissa. Ohjeistus on jaoteltu huukoille, puolihuukoille ja koville materiaaleille. Valitun puhdistusmenetelmän tulee olla mahdollisimman hellävarainen. Yleisimpinä puhdistusmenetelminä käytetään saippuaa tai puhdistusaineliuosta. Ne materiaalit, joita ei hävitetä, tulee kuivata ja puhdistaa homeesta. Myös mahdollisesti vaurioitumattomiin materiaaleihin levinneet itiöt ja fragmentit tulee mahdollisuuksien mukaan poistaa. HEPA-imurin käyttö on suositeltavaa sekä korjattavissa tiloissa että niihin yhteydessä olevissa tiloissa. Desinfiointiaineiden ja biosidien käyttöä ei suositella kuin erityistapauksissa. Siivousta varten tehdään tapauskohtainen suunnitelma ja korjauksen jälkeen korjattavan kohteen tulee olla vapaa homeesta, pölystä ja liasta.

Environmental Protection Agency (EPA)

EPA:n ohje vuodelta 2010 on tarkoitettu asuntojen omistajille ja vuokralaisille. /6/ Ohjeessa kuvataan, kuinka homekasvu puhdistetaan ja ennaltaehkäistään. Pienet (alle 1 m²) homeiset pinnat voi ohjeen mukaan puhdistaa itse ilman erillisiä toimenpiteitä. Puhdistusmenetelminä käytetään yleisesti vettä ja puhdistusainetta, jonka jälkeen puhdistetut pinnat kuivataan. Huokoiset materiaalit heitetään pois. Korjauksen jälkeen näkyvää homeetta tai hajua ei tule esiintyä. Kemikaalien ja biosidien käyttöä ei suositella.

Yhteenvetona voidaan todeta, että Suomessa laaditut ohjeet ovat yksityiskohtaisempia verrattuna Yhdysvaltalaisiin ohjeisiin. Vaikuttaa myös siltä, että monista maista ei välttämättä löydy ohjeistusta kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeisen siivouksen toteuttamiselle.

3. Tutkimukset, joissa on tarkasteltu korjauksen jälkeisen siivouksen vaikutuksia

Sauni ym. tarkastelivat katsausartikkelissaan korjausten vaikutuksia hengitystieoireisiin ja infektioihin. /7/ Korjaukset vaihtelivat eri tutkimuksissa pelkästä näkyvän homeen puhdistuksesta kokonaisvaltaisiin korjauksiin. Erään tutkimuksen (Burr ym. 2007) mukaan 6 – 12 kuukautta näkyvän homeen puhdistuksen jälkeen tutkimusryhmässä (asuintaloja) esiintyi merkitsevästi vähemmän astmaoireita kuin vertailuryhmässä (asuintaloja, joissa edelleen näkyvää homeetta). /8/ Koko katsauksen johtopäätöksenä Sauni ym. löysivät kohtalaisen paljon tukea sille, että korjaukset vähentävät astmaoireita, astmalääkityksen käyttöä ja hengitystieinfektioita.

Brandt ym. (2006) käsitelivät raportissaan strategioita homeen aiheuttamien haittojen vähentämiseksi hurrikaanien ja tulvien jälkeen. /9/ Raportissa käsitellään yleisiä ohjeita homevaurioituneiden materiaalien ja irtaimiston puhdistamiseen, suojautumiseen ja terveystieteen arviointiin tulva-alueilla. Raportissa suositellaan mm., että henkilöt joilla on hengitystiesairauksia, allergioita, astma tai heikentynyt immuunijärjestelmä, välttäisivät mahdollisuuksien mukaan osallistumasta homeen puhdistukseen. Raportissa suositellaan myös julkisen terveydenhuollon seurantajärjestelmän kehittämistä korjattuihin tiloihin palanneiden henkilöiden osalta terveysvaikutusten ja korjausten onnistumisen arvioimiseksi.

Johanning ym. (2014) tarkastelivat kirjallisuuskatsauksessaan niin ikään toimenpiteitä liittyen hurrikaanien ja tulvien aiheuttamiin vesivahinkoihin. /10/ Katsauksessa suositellaan vaurioituneiden materiaalien systemaattista poistoa ja puhdistamista ”saippualla ja vedellä” sekä useimmissa tapauksissa tehokasta pölyjen imurointia. Lisäksi todetaan, että biosidien käyttöä tulisi välttää. Katsauksessa mainitaan lisäksi, että Yhdysvalloissa kuten monissa muissa maissa ei ole erityisiä lakeja tai pakkokeinoja, jotka säätelisivät arviointia, korjausten jälkeistä siivousta tai korjaustoimenpiteitä. Katsauksessa viitataan laajasti käytettyyn New York City Guidelines- dokumenttiin /4/, joka perustuu asiantuntijoiden näkemykseen ja ohjeistaa pääasiassa näkyvän homeen arviointiin ja korjauksiin. Katsauksessa tuodaan esille, että näkyvän homeen lisäksi myös ”piilevät” homevauriot tulisi selvittää ja korjata. Joidenkin väestöryhmien osalta, kuten hyvin nuoret ja vanhat sekä huonon vastustuskyvyn omaavat henkilöt, tulisi harkita erityistoimenpiteitä altistumisen välttämiseksi. Korjaustoimenpiteiden tulisi alkaa niin pian kuin mahdollista. Kirjoittajat mainitsevat myös, että olemassa olevasta ohjeistuksesta huolimatta tietoa ohjeiden noudattamisesta ja niiden vaikutuksista ei juuri ole.

Carlson ja Mullane (2014) käsittelevät artikkelissaan toimenpiteitä kosteusongelmien ratkaisemiseksi ja ehkäisemiseksi yliopistorakennuksissa. /11/ He suosittelevat systemaattisen toimintatavan kehittämistä ongelmien arviointiin ja dokumentointiin. Yliopistorakennuksissa on usein erityistiloja, kuten laboratorioita, kirjastoja, asuintiloja ja klinikoita. Julkaisun mukaan korjausten aloittaminen 48 tunnin kuluessa vahingon sattumisesta säästää resursseja. Haitta-aineiden, kuten asbestin ja lyijyn esiintyminen tulisi olla tiedossa ennakkoon, jotta vältytään korjausten viivästyttämisestä haitta-aineiden selvitysten takia. Lämpökameraa ja kosteusmittauksia suositellaan käytettävän rinnakkain ongelmien kartoituksessa. Mikrobinäytteitä voidaan käyttää korjausten onnistumisen arvioinnin tukena. Kirjoittajien mukaan säännöllisellä siivouksen yhteydessä tehtävillä havainnoilla voidaan ennaltaehkäistä ongelmien pahenemista.

Peitzsch ym. (2012) selvittivät eri kemiallisten käsittelytapojen vaikutuksia mikrobikontaminoituneisiin materiaaleihin. /12/ Kemialliset ja mikrobiologiset analyysit tehtiin ennen käsittelyä, välittömästi käsittelyn jälkeen, kuuden viikon kuivumisajan jälkeen ja kuusi viikkoa uudelleen kastumisen jälkeen. Mikään testatuista käsittelymenetelmistä ei kokonaan eliminoinut elinkykyisiä homeita tai niiden tuottamia toksineja. Osa menetelmistä (boori- ja ammonium-pohjaiset kemikaalit sekä oksidointi) vähensivät *S. chartariumin* muodostaminen homeyrkkien määrää ja ammonium-pohjainen käsittely vähensi *A. versicolorin* muodostamien homeyrkkien määrää. Kirjoittajat korostavat johtopäätöksissään mikrobikasvun ennaltaehkäisyä.

Huttunen ym. (2010) selvittivät otsonointi- ja höyrypesun vaikutusta huonekalujen mikrobipitoisuuksiin ja immunotoksiseen potentiaaliin. /13/ Mikrobipitoisuuksia tarkasteltiin sekä mikrobien elinkykyyn perustuvalla viljelymenetelmällä ja sekä elävät että kuolleet mikrobit havaitsevalla qPCR (quantitative polymerase chain reaction)- menetelmällä. Elinkykyisten mikrobi-

en pitoisuudet pääsääntöisesti pienenevät käsittelyjen jälkeen. Yhdistetty höyrypesu- ja otsonointikäsittely oli tehokkaampi kuin pelkkä otsonointikäsittely. Myös pölyn immutoksinen potentiaali pääasissa väheni käsittelyjen myötä, mutta qPCR-menetelmällä havaittiin, että puhdistuskäsittelyt eivät poistaneet irtaimistosta kaikkea mikrobiainesta. Joissakin tapauksissa pölyssä havaittiin käsittelyjen jälkeen jopa hieman enemmän mikrobeja ja immunotoksista potentiaalia.

Aiheeseen suoraan liittyvän tutkimustiedon ollessa vähäistä tehtiin myös suppea tarkastelu kirjallisuuteen liittyen kolmeen keskeiseen mekanismiin, joiden kautta esim. vaurioiden jäljiltä puhdistettu irtaimisto voisi aiheuttaa oireita: 1) mikrobijäämät (onko niitä sellaisissa pitoisuuksissa, että voisivat aiheuttaa esim. tulehdusreaktiota), 2) haju sinänsä ja 3) hajuun liitetyt merkitykset. Näistä ensimmäistä mekanismia ei voitu tarkastella tutkimustiedon nojalla, koska mikrobipitoisuuksien mittaamista ei suositella kuin tietyissä erityistapauksissa eikä mikrobijäämiin liittyvää tutkimustietoa siksi ole saatavilla.

THL:n omassa projektissa tarkasteltiin menetelmiä, joiden avulla on mahdollista arvioida korjausten onnistumista. /14/ Tutkimuskohteissa tehtiin rakennusteknisten tarkastelujen lisäksi mikrobiologisia tarkasteluja ja terveysselektioita. Kuudesta kohteesta kolmen kohteen korjaukset arvioitiin teknisesti onnistuneiksi. Näistä kolmesta yhdessä havaittiin mikrobiologisen tilanteen selvästi parantuneen ja kahdessa muussa kohteessa havaittiin jonkinasteista parantumista. Oireiden suhteen tilanne oli vielä epäselvempi: yhdessä havaittiin osittaista oireilun vähenemistä, yhdessä tilanne ei parantunut ja yhden tilannetta ei voitu arvioida, koska kohteen oirekyselyn vastausprosentti jäi liian pieneksi. Ylipäätään oireilun liittäminen yksittäisten rakennusten vaurioihin ja tehtyihin korjauksiin on hyvin epävarmaa, koska oireisiin vaikuttavat hyvin monet eri tekijät, joiden mittaaminen objektiivisesti on vaikeaa.

Haju sinänsä jo pystyy aiheuttamaan merkittävää oireilua. /15/ Esimerkiksi Claeson ym. (2009) havaitsi altistuskokeilla, että altistuminen korkeille MVOC pitoisuuksille (mikrobiperäiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet) ilman nenäklipsiä pahensi iho-oireita. /16/ Tästä syystä näkyvän homeen siivoamisen lisäksi lienee tärkeää pyrkiä siivoamaan myös hajuttomaksi.

Joissakin tutkimuksissa on havaittu, että oireita pahentaa, jos kyseessä on tuttu haju, johon on aiemminkin liittynyt oireilua tai jonka ajatellaan voivan aiheuttaa oireita (esim. Dalton ym. 1997). /17/ Tällöin voi kyseessä olla ns. negatiivinen harha.

LÄHTEET

1. Hometalkoot 2016. Homevaurioituneen rakenneosan puhdistusohje. <http://www.hometalkoot.fi/file/15921.pdf>
2. Työterveyslaitos 2016. Ohje siivoukseen ja irtaimiston puhdistukseen kosteus- ja homevauriokorjausten jälkeen. <http://www.hometalkoot.fi/file/15862.pdf>
3. Hometalkoot 2013. Homevaurioituneen rakennusmateriaalin puhdistusohje rakenneosille, joita ei voi poistaa. <http://www.hometalkoot.fi/file/15838.pdf>
4. ANSI/IICRC S 520-2015. Standard for professional mold remediation, 3rd edition. Institute of Inspection, Cleaning and restoration, Las Vegas, NV, USA
5. New York City Department of Health and Mental Hygiene. Guidelines on Assessment and Remediation of Fungi in Indoor Environments, 2008.
6. EPA. A brief guide to moisture, mold and your home. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Indoor Environments Division, 1200 Pennsylvania Avenue, N. W., USA, 2010.
7. Sauni R, Uitti J, Jauhiainen M, Kreiss K, Sigsgaard T, Verbeek JH. Remediating buildings damaged by dampness and mould for preventing or reducing respiratory tract symptoms, infections and asthma (Review). Cochrane Database of Systematic Reviews, (2011).

8. Burr ML, Matthews IP, Arthur RA, Watson HL, Gregory CJ, Dunstan FDJ et al. Effects on patients with asthma of eradicating visible indoor mould: a randomised controlled study. *Thorax* 62:766–71 (2007).
9. Brandt M, Brown C, Burkhart J, Burton N, Cox-Ganser J, Damon S, Falk H, Fridkin S, Garbe P, McGeehin M, Morgan J, Page E, Rao R, Redd S, Sinks T, Trout D, Wallingford K, Warnock D, Weissman D. Mold Prevention Strategies and Possible Health Effects in the Aftermath of Hurricanes and Major Floods. CDC, Recommendations and reports. June 9, 2006.
10. Eckardt Johanning E, Auger P, Morey PR, Yang CS, Olmsted E. Review of health hazards and prevention measures for response and recovery workers and volunteers after natural disasters, flooding, and water damage: mold and dampness. *Environmental Health and Preventive Medicine* 19 (2), 93-99 (2014).
11. Carlson NG, Mullane K. A comprehensive plan to reduce losses from water damage at a university. *Journal of Chemical Health and Safety*, 21 (6), 28–33 (2014).
12. Peitzsch M, Bloom E, Haase R, Must A, Larsson L. Remediation of mould damaged building materials - Efficiency of a broad spectrum of treatments. *Journal of Environmental Monitoring* 14 (3), 908-915 (2012).
13. Huttunen K, Kauhanen E, Meklin T, Vepsäläinen A, Hirvonen MR, Hyvärinen A, Nevalainen A. 2010. The effect of ozonization on furniture dust: Microbial content and immunotoxicity in vitro. *Science of the total environment*, 408(11), 2305-2311.
14. Haverinen-Shaughnessy U, Hyvärinen A, Putus T, Nevalainen A. Monitoring success of remediation: Seven case studies of moisture and mold damaged buildings. *Science of the Total Environment*, 399 (1-3), 19-27 (2008).
15. Quansah R, Jaakkola M, Hugg T, Heikkinen S, Jaakkola J. Residential Dampness and Molds and the Risk of Developing Asthma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLOS ONE*, November 7, 2012DOI: 10.1371/journal.pone.0047526
16. Claeson A-S, Nordin S, A. -L. Sunesson A-L, Effects on perceived air quality and symptoms of exposure to microbially produced metabolites and compounds emitted from damp building materials. *Indoor Air* 19: 102–112, 2009.
17. Dalton P, Wysocki CJ, Brody MJ, Lawley HJ. The influence of cognitive bias on the perceived odor, irritation and health symptoms from chemical exposure. *Int Arch Occup Environ Health* 69:407-417 (1997).

LIITE 2. ILMANPUHDISTIMIEN KÄYTTÖ SISÄYMPÄRISTÖISSÄ - KIRJALLISUUSKATSAUS

Hanna Leppänen, Anne Hyvärinen, THL

Johdanto

Ilmanpuhdistimia käytetään monissa kunnissa ja kodeissa ilmanlaadun parantamiseen. Niitä käytetään myös tilanteissa joissa rakennuksessa on todettu home- tai kosteusvaurio ja korjausta joudutaan odottamaan. Tällä hetkellä ei kuitenkaan ole olemassa riittävää tutkimustietoa siitä, voidaanko ilmanpuhdistimilla vähentää altistumista sisäilman mikrobeille ja näin ollen helpottaa tilaa käyttävien henkilöiden oireilua. Tässä kirjallisuuskatsauksessa selvitetään, kuinka tehokkaita ilmanpuhdistimet ovat vähentämään altistumista erilaisille sisäilman epäpuhtauksille ja pystytäänkö niiden avulla poistamaan koettuja terveyshaittoja. Lisäksi selvitetään eri ilmanpuhdistustekniikoiden mahdollisia haittavaikutuksia.

1 . Ilmanpuhdistimissa yleisesti käytetyt tekniikat

Ilmanpuhdistimissa käytetään useita eri tekniikoita. Seuraavaksi on esitetty yleisimmin käytössä olevat tekniikat.

Mekaaninen suodatus

Mekaaninen suodatus on yksinkertainen ja laajasti käytetty ilmanpuhdistustekniikka, jossa hiukasmaiset epäpuhtaudet sidotaan suodattimeen. Ilma johdetaan suodattimien läpi puhallinmoottorin avulla. Esisuodatin poistaa karkeamman pölyn, jonka jälkeen ilma kulkee edelleen pääsuodattimeen. Pääsuodattimen tyyppi vaikuttaa ratkaisevasti siihen, minkä kokoisia hiukkasia pystytään poistamaan. Ilmansuodattimet voidaan luokitella eurooppalaisen standardin EN779:2012 mukaan kolmeen eri suodatusryhmään: karkea-, keski- ja hienosuodattimiin (Taulukko 1). Lisäksi standardissa EN1822:2009 on määritelty korkeamman luokan suodattimet, EPA (Efficient Particulate Air filter), HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) ja ULPA (Ultra Low Penetration Air filter) (Taulukko 2).

Taulukko 1. Ilmansuodattimien luokitus standardin EN779:2012 mukaan (Eurovent 2012).

Suodatinryhmä	Suodatinluokka	Keskimääräinen suodatuskyky (Ks) synteettisellä pölyllä (%)	Keskimääräinen suodatustehokkuus (Kt) hiukkaskoolla 0,4 µm (%)
Karkeasuodatin	G2	$50 \leq Ks < 65$	
	G2	$65 \leq Ks < 80$	
	G3	$80 \leq Ks < 90$	
	G4	$90 \leq Ks$	
Keskisuodatin	M5		$40 \leq Kt < 60$
	M6		$60 \leq Kt < 80$
Hienosuodatin	F7		$80 \leq Kt < 90$
	F8		$90 \leq Kt < 95$
	F9		$95 \leq Kt$

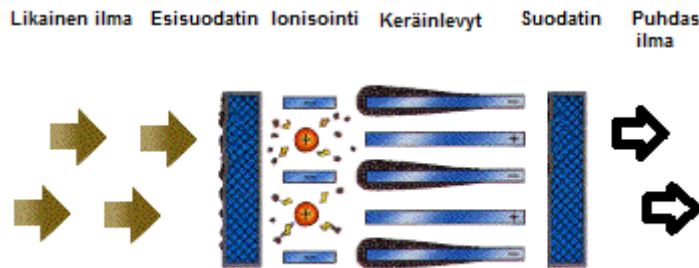
Taulukko 2. Ilmansuodattimien luokitus standardin EN1822:2009 mukaan (Camfil 2016).

Suodatinryhmä	Suodatinluokka	Kokonaissuodatustehokkuus (%)	Kokonaisläpäisy (%)
EPA-suodatin	E10	85	15
	E11	95	5
	E12	99,5	0,5
HEPA-suodatin	H13	99,95	0,05
	H14	99,995	0,005
ULPA-suodatin	U15	99,9995	0,0005
	U16	99,99995	0,00005
	U17	99,999995	0,000005

Suodattimet täyttyvät helposti ja samalla partikkelien poistotehokkuus laskee. Tämä voidaan ehkäistä vaihtamalla suodattimet riittävän usein. Käytetyt suodattimet voivat itsessään toimia kontaminaatiolähteinä, sillä ne muodostavat otollisen kasvualustan mikro-organismeille (Yu et al. 2009). Mekaanisen suodatuksen tehokkuuteen vaikuttavat suodatintyyppi, suodattimen materiaali, ilmavirta ja -nopeus sekä epäpuhtauksien laatu (Zhao et al. 2007).

Sähköinen suodatus

Sähköiseen presipitaatioon perustuvassa menetelmässä hiukkaset ionisoidaan ja ohjataan sähköiseen kenttään, jossa ne otetaan kiinni vastakkaisesti varattuihin levyihin. Huoltoon kuuluu säännöllinen puhdistus. (Luengas et al. 2015). Osa sähköisistä suodattimista pesee itse itsensä, mutta pesuvesi tulee vaihtaa säännöllisesti.



Kuva 1. Sähköisen suodatuksen toimintaperiaate (mukailtu Trion Indoor Air Quality 2016 kuvasta)

Ionisaattorit eli ionisoivat laitteet puolestaan perustuvat varattujen ionien levittämiseen ilmaan ja niiden sitoutumisesta hiukkasiin, jolloin hiukkasista tulee varautuneita. Varautuneet hiukkaset voivat kiinnittyä pintoihin kuten seiniin, lattioihin ja huonekaluihin. Vastakkaisesti varautuneet hiukkaset voivat myös sitoutua toisiinsa muodostaen suurempia partikkeleja, jotka laskeutuvat pinnoille (EPA 2009)

Adsorptio

Adsorptioon perustuvassa tekniikassa käytetään erilaisia adsorbentti-materiaaleja kuten aktiivihiehtä, zeoliittia, silikageeliä, aktivoitua alumiinia, mineraalikalkkia ja joitakin polymeerejä. Aktiivihiehti ja hydrofobinen zeoliitti ovat eniten käytettyjä materiaaleja, johtuen niiden suuresta pinta-alasta ja adsorptioitehokkuudesta (Huang et al. 2003; Kim and Ahn 2012). Adsorbenttina toimiva aine sitoo molekyylejä pinnalleen fysisorption tai kemisorption avulla. Fysisorptiona molekyylin adsorptio tapahtuu Van der Waalsin voimiin perustuvien vetovoimien avulla. Kemisorptiossa adsorbentin ja sitoutuvan adsorbaatin pintojen välille syntyy vahva kemiallinen sidos. (Tikkanen & Mero 2011). Aktiivihiehtisuodattimien käyttöikä on melko lyhyt. Niiden teho heikkenee merkittävästi vuodessa. Teho voi laskea merkittävästi jopa kuukaudessa, jos ilmassa on runsaasti epäpuhtauksia. (Heli 2016).

Otsonointi

Otsonia (O_3) tuotetaan teollisesti kolmella tavalla: kylmäplasma- ja koronapurkausmenetelmällä sekä UV-valolla. Kaikkia näitä menetelmiä käytetään kaupallisesti myytävissä otsonointilaitteistoissa. Otsonigeneraattoreita käytetään Yhdysvaltojen Environmental Protection Agency (EPA) mukaan myös sellaisinaan ilmanpuhdistimina (EPA 2009). Otsoni ja radikaalit hapettavat muun muassa ilmassa ja pinnoilla olevia mikrobiologisia, kemiallisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia muuttaen niiden rakenteita ja ominaisuuksia. Reaktioissa voi syntyä uusia haitallisia epäpuhtauksia. Syntyneet sekundääriyhdisteet voivat reagoida kaasufaasisa uudestaan tuottaen lisää ärsyttäviä ja syövyttäviä sivutuotteita. Otsonointia käytettäessä pitoisuudet ovat erittäin suuria ja haitallisia, eikä otsonointia tule koskaan käyttää ihmisten tai eläinten läsnä ollessa (Leppänen 2017). Sosiaali- ja terveysministeriö on arvioinut otsonin voivan aiheuttaa haittaa työntekijöiden terveydelle 0,05 ppm pitoisuutta suuremmilla keskimääräisillä pitoisuuksilla (8 tunnin HTP-arvo 0,05ppm = $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Sosiaali- ja terveysministeriö 2014). WHO:n antama vastaava ohjearvo otsonialtistukselle ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO 2005).

Fotokatalyyttinen oksidaatio

Fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvassa tekniikassa käytetään katalyyttiä, yleisimmin titaanioksidia (TiO_2) jota aktivoidaan UV-säteilyllä. Tässä reaktiossa syntyy elektroni-aukopareja, jotka reagoivat hydroksyyli (OH^\cdot) -ryhmien ja vesimolekyylien (H_2O) kanssa muodostaen hapettavia hydroksyyli-radikaaleja (OH^\cdot), jotka reagoivat edelleen kaasumaisten epäpuhtauksien kanssa hajottaen niitä. (Farhanian and Haghighat 2014; Luengas et al. 2015). Muita yleisesti käytettyjä katalyyttejä ovat ZnO , ZnS , CdS , Fe_2O_3 , SnO_2 (Mo et al. 2009). Laitteiden huoltoon kuuluu säännöllinen puhdistus laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti (Heli 2016).

Plasmasuodatus

Plasma on ionisoitua kaasua, joka koostuu elektroneista, positiivisista ioneista ja neutraaleista partikkeleista (atomit tai molekyylit). Plasma voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin riippuen sen termodynaamisista ominaisuuksista: 1) täysin termodynaamisessa tasapainossa oleva plasma, 2) paikallisesti termodynaamisessa tasapainossa oleva plasma, 3) plasma, joka ei ole lainkaan termodynaamisessa tasapainossa, ns. kylmä plasma tai ei-terminen plasma. Näistä viimeksi mainittua käytetään yleisesti sisäilman puhdistuksessa. Sitä voidaan tuottaa usealla eri menetelmällä: koronapurkauksella vaihtovirralla, tasavirralla tai DBD -menetelmällä (dielectric barrier discharge). Kylmä plasma sitoo hiukkasia elektrostaattisen ilmiön avulla ja tuottaa myös UV-säteilyä, ja on näin ollen tehokas menetelmä poistamaan pienhiukkasia ja mikrobeja. Se myös tuottaa vapaita radikaaleja ja hapettimia, jotka edistävät kemiallisten sidosten rikkoutumista ja esimerkiksi VOC:ien hajoamista hiilidioksidiksi ja vedeksi. (Luengas et al. 2015).

Ultravioletti (UV) -säteily

Ultravioletti (UV) -säteily tuhoaa bakteereita, sieniä ja viruksia. Säteily läpäisee mikrobin solukalvon ja muuttaa DNA:ta, estäen solun uusiutumisen ja näin ollen johtaa solukuolemaan (EPA 2009). Pintoja ja ilmaa steriloiva vaikutus on vahvin aallonpituusalueella 200 – 365 nm (Luengas 2015). UV-lampun käyttöikä on noin vuosi. UV-säteilytyksen lisäksi tarvitaan suodatin, joka poistaa mikrobit ja hiukkaset. Myös suodatin tulee vaihtaa säännöllisesti.

2 . Ilmanpuhdistimien vaikutus mikrobeihin

Mekaaniseen suodatukseen perustuvissa ilmanpuhdistimissa HEPA -suodattimien on todettu suodattavan hyvin suurempia hiukkasia kuten siitepölyä, huonepölyä, joitakin homeitiöitä ja eläinten hilsettä. Nämä partikkelit kuitenkin laskeutuvat nopeasti ja näin ollen niitä ei pystytä kokonaan poistamaan huoneilmasta mekaanisilla suodattimilla. (EPA 2009). Wen ym. (2014) havaitsivat HEPA -suodattimien suodattavan yli 99 % ilmassa olevista *Serratia marcescens* bakteereista. Cheong ym. (2004) puolestaan havaitsivat että HEPA-suodattimia käyttämällä sisäilman sienipitoisuudet laskivat 35 %.

UV-säteilyä käytetään yleisesti mikrobien tuhoamiseen laboratorioissa, elintarviketeollisuudessa ja leikkaussaleissa. Laboratoriokokeissa UV-C lamppujen on todettu inaktivoivan homeitiöitä ja bakteereja 50–100 % tehokkuudella (Ko et al. 2002; Kujundzic et al. 2006; Miller and Macher 2000). Menetelmän tehokkuudesta ei ole kuitenkaan olemassa vakuuttavaa kenttätutkimusta (Zhang et al. 2011). Myös plasmaan perustuvassa suodatuksessa syntyy UV-säteilyä, jonka on todettu poistavan viruksia ja bakteereita (Luengas et al. 2015). Laboratoriotiloissa DPD-menetelmällä (dielectric barrier discharge) syntyneellä plasmalla on havaittu bakteereita ja sieniä inaktivoiva vaikutus. Pitoisuudet ovat vähentyneet 85–98 %. (Liang et al. 2012).

Fotokatalyyttistä oksidaatiota käytetään pääasiassa kaasumaisten yhdisteiden poistamiseen. Sillä on kuitenkin todettu olevan vaikutusta myös bioaerosoleihin. Sen on todettu vähentävän huoneilmasta viruksia, bakteereita ja sieniä 80–99,9 % (Grinshpun et al. 2007; Kim et al. 2006; Lin and Li 2003; Vohra et al. 2006). Reaktiot perustuvat hydroksyyli-radikaalien kykyyn hapettaa solun ulkokalvon fosfolipidejä sekä koentsyymi A:ta, joka johtaa soluhengityksen estymiseen ja sitä kautta solukuolemaan. Hydroksyyli-radikaalit aiheuttavat myös solun K⁺ ionien vuotoa sekä DNA- ja RNA-vaurioita. (Dunford et al. 1997; Hidaka et al. 1997; Maness et al. 1999; Sunada et al. 1998; Vohra et al. 2005). Kun fotokatalyyysin yhteydessä on käytetty lisäksi HEPA -suodatinta ovat mikrobipitoisuudet laskeneet 60–100 % riippuen mikrobilajista (Chuaybamroong et al. 2010). Myös adsorptiolla voidaan vähentää sisäilman sieni- ja bakteeripitoisuuksia yli 95 % (Cheng et al. 2012).

3. Ilmanpuhdistimien vaikutus pienhiukkasiin

Tutkimusten mukaan pienhiukkaspitoisuuksia pystytään vähentämään ilmasta 30–73 % käyttämällä HEPA -suodatinta (Batterman et al. 2005; Cheong et al. 2004; Offermann et al. 1992). Davis ym. (1994) selvittivät erilaisten kaupallisten ilmanpuhdistimien toimivuutta pienhiukkasten suodatuksessa. Ilmanpuhdistimissa oli käytössä joko mekaaninen (HEPA), adsorptio- tai sähköinen suodatustekniikka. He havaitsivat, että PM_{0,5} -hiukkasille suodatustehokkuus oli 0–32 % ja PM₄ -hiukkasille 35–86 %. Eri tekniikoilla ei ollut eroa suodatustehokkuudessa. Bliss ym. (2005) mukaan sähköisten suodattimien tehokkuus on yli 90 % 0,3–6 µm hiukkaskoossa. Ionisaattoreilla vastaavan kokoisten hiukkasten poistotehokkuus on 75–95%. Ionisaattoria käytettäessä hiukkasten koolla ei ole havaittu olevan suurta merkitystä poistotehokkuudessa: PM_{0,1} -hiukkasille poistotehokkuus oli 97 % ja vastaavasti PM₁ -hiukkasille 95 % (Lee et al. 2004).

Aktiivihii-lisuodattimia käytettäessä pienhiukkasten suodatustehokkuuteen vaikuttaa kuitujen järjestys: mitä homogeenisempi järjestys sitä parempi tehokkuus. Myös useampi kuitukerrok parantaa suodatustehokkuutta. Lorimier ym. (2008) totesivat tutkimuksessaan, että PM_{0,1} – PM_{2,5} -hiukkasten suodatustehokkuudet vaihtelivat välillä 52–86 %, riippuen kuitukerroksesta.

Park ym. (2008) selvittivät kuinka hyvin plasmatekniikkaan perustuvalla ilmanvaihtojärjestelmällä yhdessä fotokatalyyttisen oksidaation kanssa voidaan pienentää PM_{2,5} -pitoisuuksia. Laboratoriossa tehdyssä kammikokeessa PM_{2,5} -massapitoisuuksien havaittiin pienenevän 79.5 %.

4. Ilmanpuhdistimien vaikutus kemiallisiin yhdisteisiin

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) pystytään poistamaan ilmasta 70–80 % aktiivihii-lisuodatinta käyttämällä (Sidheswaran et al. 2012). Chen ym. (2005) tutkivat viittätoista erilaista ilmanpuhdistinta, joissa oli käytössä viisi erilaista suodatusmenetelmää (adsorptio, fotokatalyyttinen oksidaatio, otsonointi, plasma ja vihersuodatus). Tutkimuksessa selvisi, että adsorptio oli kaikista tehokkain (jopa yli 90 %) menetelmä poistamaan ilmasta 16 yleisimmän sisäilmassa esiintyvän VOC-yhdisteen seosta. Myös Zhang ym. (2011) totesivat kirjallisuuskatsauksessaan adsorption poistavan tehokkaasti kaasumaisia epäpuhtauksia, VOC-yhdisteiden lisäksi myös formaldehydiä, otsonia (O₃), typpidioksidia (NO₂), rikkidioksidia (SO₂) ja rikkivetyä (H₂S).

Plasmaan perustuvassa suodatuksessa syntyy vapaita radikaaleja ja hapettimia, jotka rikkoivat kemiallisia sidoksia ja näin ollen hajottavat VOC-yhdisteitä hiilidioksidiksi ja vedeksi (Fan

et al. 2009). Laboratoriokokeet osoittavat, että plasmasuodatuksella voidaan vähentää esimerkiksi BTEX-yhdisteitä, etanolia ja formaldehydiä (Zhang et al. 2011). Kun plasmaan perustuva suodatus yhdistetään fotokatalyyttiseen oksidaatioon, pystytään VOC-yhdisteitä, kuten tolueenia vähentämään entistä tehokkaammin (Van Durme et al. 2007). Fotokatalyyttistä oksidaatiota yksinään käytettäessä sisäilman tyypillisiä tolueenipitoisuuksia (10–500 ppbv) on pystytty vähentämään 30–90 % (Quicy ym. 2010). Myös 2-propanoli- ja tolueeniseoksen pitoisuutta (80–400 ppbv) on pystytty vähentämään jopa 100 % suhteellisen ilmankosteuden (RH %) ollessa 0 %. Vastaavasti kun suhteellinen ilmankosteus on ollut 60 %, tolueenipitoisuus on laskenut vain 50 %. (Vildoza et al. 2011). Ilmankosteudella onkin huomattava merkitys poistettaessa VOC-yhdisteitä fotokatalyyttisellä oksidaatiolla.

5. Ilmanpuhdistimien vaikutus terveyteen ja niiden käytöstä aiheutuvat riskit

Institute of Medicine (IOM) mukaan tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille. Ilmanpuhdistimien käyttö voi auttaa vähentämään ilmassa olevia allergeeneja ja hiukkasia ja joissakin tapauksissa vähentää allergia- ja astmaoireita, varsinkin vuodenaikaisoireita. (Institute of Medicine 2000). McDonald ym. (2002) totesivat meta-analyysissään ilmansuodatuksen vähentävän astmaatikkojen oireita hieman, mutta kuitenkin tilastollisesti merkitsevästi. Analyysissä kritisoitiin tutkimusten rajoituksia, kuten elämänlaatuindikaattoreiden, kliinisten päätemuuttujien ja sokkouttamisen puutteita. Sublett (2010; 2011) puolestaan totesi katsauksissaan ilmansuodatuksen olevan oireita lievittävä ja sairauden etenemistä hidastava tekijä, ei varsinainen hoitokeino. Katsausten mukaan ilmansuodatus voi vähentää altistumista siinä määrin, että joiltakin henkilöiltä sairaus voi jäädä kokonaan puhkeamatta. Huoneilmansuodattimien todettiin olevan hyödyllisiä unenaikaisen hengitysilman puhdistamisessa, muuten keskusilmanvaihdon suodatus oli tehokkaampi menetelmä. Myös Fisk (2013) totesi katsauksessaan unenaikaiset hengitysvyöhykkeen ilmaa suodattavat ilmanpuhdistimet tehokkaiksi. Hän myös totesi ilmansuodatuksesta olevan jonkin verran hyötyä astmaatikoiden ja allergikoille varsinkin kodeissa, joissa on lemmikkieläimiä.

On huomioitava, että ilmanpuhdistimien kyky poistaa ilman epäpuhtauksia kuten mikro-organismeja ei ole itsessään osoitus ilmanpuhdistimen kyvystä vähentää oireita (EPA 2009). Skulberg ym. (2005) tutkivat sähköisten ilmanpuhdistimien vaikutuksia terveysvaikutuksiin toimistotyöntekijöillä. Tutkimuksessa mukana olevat hengitystieoireita sairastavat henkilöt jaettiin interventio- ja kontrolliryhmään. Kontrolliryhmässä ilmanpuhdistimen sähköinen yksikkö ei ollut toiminnassa. Sähköiset ilmanpuhdistimet vähensivät ilmassa olevaa pölyä enemmän (46 %) verrattuna kontrolliryhmään (18 %). Uloshengityksen huippuvirtauksen (PEF) arvoissa havaittiin pieni parannus interventior ryhmässä verrattuna kontrolliryhmään. Ärsytys- ja yleisoireet pienenevät molemmissa ryhmissä, mutta ryhmien välillä ei ollut eroa.

Ilmansuodatuksen vaikutusta on tutkittu myös sydän- ja verisuonitautien osalta. Lin ym. (2011) havaitsivat sydämen sykkeen ja kohtalaisen verenpaineen olevan yhteydessä pienhiukkasten neljän tunnin keskiarvopitoisuuteen. Kun pitoisuus laski, laskivat myös syke ja verenpaine. Tutkimushenkilöinä toimivat tupakoimattomat opiskelijat kampusasuntoloissa. Neljästä mittausjaksosta kahdella viimeisellä huoneistokohtaiseen jäähdyttävään ilmastointilaitteeseen lisättiin suodatin. Myös verisuonten endoteelin (verisuonen sisälehti) toiminnan epäsuoraa mittaria, reaktiivista hypereemistä indeksiä (RHI) on tutkittu terveillä aikuisilla ja iäkkäillä pariskunnilla pienhiukkasten osalta (Allen et al. 2011; Brauner et al. 2008). Käytössä on ollut satunnaistettu tutkimusasetelma, joista toisella jaksolla on ollut käytössä HEPA-suodatin. RHI parani vähän, mutta tilastollisesti merkitsevästi kummassakin tutkimuksessa. Ilmanpuhdistusmenetelmien haittapuolena ovat niistä sivutuotteina syntyvät terveydelle haitalliset yhdisteet. Fotokatalyyttisessä oksidaatiossa syntyy sekundääriepäpuhtauksina formaldehydiä ja asetaldehydiä (Hodgson et al. 2007; Mo et al. 2009). Plasma-suodatusmenetelmässä syntyy puolestaan typenoksideja ja otsonia. Otsonipitoisuus riippuu ilmankosteudesta. Van Durme et al. (2007) havaitsi otsonipitoisuuden vaihtelevan välillä 26.6 ppm_v (RH 45 %) - 49.9 ppm (kuiva ilma). Ragazzi ym. (2014) havaitsivat että plasmamenetelmää käytettäessä metyyli-etyyli-ketonista ainoastaan 2-4 % muuttui hiilidioksidiksi, sivutuotteina syntyi metyylinitraattia ja 2,3-butaanidionia. Vastaavasti tolueenia ja limoneenia käsiteltäessä sekundääriepäpuhtauksina syntyy metaanihappoa ja karboksyylihappoja (Hoben et al. 2012).

Sähköistä suodatusta käytettäessä voi syntyä vaarallisia varattuja partikkeleita ja uusia epäpuhtauksia, kuten ultrapieniä hiukkasia ja otsonia (Guieysse et al. 2008). Waring & Siegel (2011) tutkivat ionisaattoria, joka oli asennettu 27 m³ asuinhuoneeseen. Kyseinen ionisaattori emitti otsonia 3.3 ± 0.2 mg/h. Tutkimusryhmä havaitsi ionisaattorin käytön lisäävän sekä ultrapienien hiukkasten että otsonin pitoisuuksia. Tietoa eri ilmanpuhdistustekniikoiden sekundäärisesti tuottamista otsonipitoisuuksista ja niiden terveysvaikutuksista on kirjallisuudessa todella vähän. Otsoni itsessään on terveydelle haitallista (EPA 2013; WHO 2005). Erillisiä otsonigeneraattoreita käytettäessä pitoisuudet ovat yleensä suuria ja haitallisia, jolloin on huolehdittava varotoimista - otsonointia ei mm. tule koskaan käyttää ihmisten tai eläinten läsnä ollessa (Leppänen 2017). Otsonointia ei pääsääntöisesti suositella käytettäväksi sisätiloissa ratkaisuksi homeongelmiin, homesiivouksen tehosteeksi tai homekasvun ehkäisyyn. Otsonointia tulee käyttää vain erityistilanteissa, esimerkiksi hajunpoistoon (Leppänen 2017). Otsonin muodostamat happiradikaalit reagoivat kemiallisten epäpuhtauksien kanssa, jolloin syntyy myös haitallisia sekundääriepäpuhtauksia ja radikaaleja, kuten aldehydejä, ketoneita, orgaanisia happoja, hydroksyyli- ja nitraattiradikaaleja, primääri- ja sekundääriotsonideja, α-hydroksiketoneja, ja α-hydroperoksiedeja. Myös ultraviolettisäteilyyn perustuvassa ilmanpuhdistusmenetelmässä syntyy otsonia (Zhang et al. 2011). Zhao ym. (2013) havaitsivat UV-säteilytyksessä syntyvän myös monia muita sekundääriepäpuhtauksia muun muassa aldehydejä.

Mekaanisia suodattimia käytettäessä käytetyt suodattimet toimivat kasvualustana mikrobeille ja voivat siten olla kontaminaatiolähde (Yu et al. 2009). Myös hiiltä sisältävät adsorbentit toimivat hyvänä kasvualustana ilmasta laskeutuville bakteereille (Pei et al. 2013). Adsorboituneet haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja otsoni voivat muodostaa uusia sekundaariyhdisteitä (Zhang et al. 2011). Adsorboituneet yhdisteet voivat myös emittoitua uudelleen, minkä takia adsorbenttien säännöllinen vaihto on tärkeää (Liébana & Calleja 1998). Adsorbentit ovat vaarallista jätettä ja ne on käsiteltävä ja hävitettävä oikein (Luengas et al. 2015).

6. Johtopäätökset

- Mekaanisella suodatuksella voidaan poistaa sisäilmasta hiukkasmaisia epäpuhtauksia kuten siitepölyä, huonepölyä, homeitiöitä, bakteereita, eläinten hilsettä ja pienhiukkasia. Suodattimet tulee vaihtaa riittävän usein kontaminaation estämiseksi.
- Adsorptiolla (fysisorptio tai kemisorptio) voidaan poistaa tehokkaasti pienhiukkasia, haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, formaldehydiä, O₃, NO₂, SO₂ ja H₂S. Myös sisäilman sieni- ja bakteeripitoisuuksia voidaan vähentää adsorptiolla jopa yli 95 %. Adsorboituneet haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja otsoni voivat muodostaa uusia sekundääriyhdisteitä tai adsorboituneet yhdisteet voivat emittoitua uudelleen.
- Sähköisellä suodatuksella pystytään vähentämään sisäilman pienhiukkasia tehokkaasti. Ionisaattoria käytettäessä poistotehokkuus ei ole merkittävästi riippuvainen hiukkasten koosta. Sähkösuodatuksen / ionisoinnin erotuskyky on riippuvainen ilman virtausnopeuden suhteesta suodattimen mitoitusnopeuteen. Sähköistä suodatusta / ionisointia käytettäessä voi syntyä vaarallisia varattuja partikkeleita ja uusia epäpuhtauksia, kuten ultrapieniä hiukkasia ja otsonia.
- UV-säteilytys inaktivoi bakteereita, sieniä ja viruksia 50 - 100 %. Sivutuotteena voi syntyä otsonia.
- Fotokatalyyttisellä oksidaatiolla pystytään vähentämään kaasumaisia epäpuhtauksia (kuten tolueeni, 2-propanoli). Sen on todettu vähentävän huoneilmasta myös viruksia, bakteereita ja sieniä. Sivutuotteina syntyy uusia kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten formaldehydiä ja asetraldehydiä.
- Plasmasuodatuksella voidaan vähentää esimerkiksi BTEX-yhdisteitä, etanolia ja formaldehydiä, sekä myös mikrobeja. Yhdessä fotokatalyyysin kanssa plasmasuodatus

poistaa tehokkaasti myös pienhiukkasia. Sivutuotteina syntyy muun muassa ty-
penoksideja ja otsonia.

- Tämänhetkiset kokeelliset tutkimukset ovat puutteellisia osoittamaan ilmanpuhdistimien hyötyjä allergioita ja astmaa sairastaville henkilöille.
- Ilmanpuhdistimien käyttö voi auttaa vähentämään ilmassa olevia allergeeneja ja hiukkasia ja joissakin tapauksissa vähentää allergia- ja astmaoireita.
- Tarvitaan lisää tutkimusta ilmanpuhdistimien tehokkuudesta vähentää erilaisia sisäilman epäpuhtauksia ja niistä aiheutuvia terveyshaittoja.

LÄHTEET

- Allen RW, Carlsten C, Karlen B, Leckie S, van Eeden S, Vedal S et al. 2011. An air filter intervention study of endothelial function among healthy adults in a woodsmoke-impacted community. *Am J Respir Crit Care Med* 183(9):1222-1230; doi: 10.1164/rccm.201010-1572OC.
- Batterman S, Godwin C, Jia C. 2005. Long duration tests of room air filters in cigarette smokers' homes. *Environ Sci Technol* 39(18):7260-7268; doi: 10.1021/es048951q.
- Brauner EV, Forchhammer L, Moller P, Barregard L, Gunnarsen L, Afshari A et al. 2008. Indoor particles affect vascular function in the aged - an air filtration-based intervention study. *Am J Respir Crit Care Med* 177(4):419-425; doi: 10.1164/rccm.200704-632OC.
- Cheng H, Hsieh C, Tsai C. 2012. Antibacterial and regenerated characteristics of ag-zeolite for removing bioaerosols in indoor environment. *Aerosol Air Qual Res* 12(3):409-419; doi: 10.4209/aaqr.2011.08.0134.
- Cheong C, Neumeister-Kemp H, Dingle P, Hardy G. 2004. Intervention study of airborne fungal spora in homes with portable HEPA filtration units. *J Environ Monit* 6(11):866-873; doi: 10.1039/b408135h.
- Chuaybamroong P, Chotigawin R, Supothina S, Sribenjalux P, Larpiattaworn S, Wu C-. 2010. Efficacy of photocatalytic HEPA filter on microorganism removal. *Indoor Air* 20(3):246-254; doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00651.x.
- DAVIS W, CORNELL C, DEVER M. 1994. Comparison of experimental and theoretical efficiencies of residential air filters. *Tappi J* 77(9):180-186.
- Dunford R, Salinaro A, Cai L, Serpone N, Horikoshi S, Hidaka H et al. 1997. Chemical oxidation and DNA damage catalysed by inorganic sunscreen ingredients. *FEBS Lett* 418(1-2):87-90; doi: 10.1016/S0014-5793(97)01356-2.
- Fan X, Zhu TL, Wang MY, Li XM. 2009. Removal of low-concentration BTX in air using a combined plasma catalysis system. *Chemosphere* 75(10):1301-1306; doi: 10.1016/j.chemosphere.2009.03.029.
- Farhanian D, Haghighat F. 2014. Photocatalytic oxidation air cleaner: Identification and quantification of by-products. *Build Environ* 72:34-43; doi: 10.1016/j.buildenv.2013.10.014.
- Fisk WJ. 2013. Health benefits of particle filtration. *Indoor Air* 23(5):357-368; doi: 10.1111/ina.12036.
- Grinshpun SA, Adhikari A, Honda T, Kim KY, Toivola M, Rao KSR et al. 2007. Control of aerosol contaminants in indoor air: Combining the particle concentration reduction with microbial inactivation. *Environ Sci Technol* 41(2):606-612; doi: 10.1021/es061373o.
- Guieysse B, Hort C, Platel V, Munoz R, Ondarts M, Revah S. 2008. Biological treatment of indoor air for VOC removal: Potential and challenges. *Biotechnol Adv* 26(5):398-410; doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.03.005.
- Hidaka H, Horikoshi S, Serpone N, Knowland J. 1997. In vitro photochemical damage to DNA, RNA and their bases by an inorganic sunscreen agent on exposure to UVA and UVB radiation. *J Photochem Photobiol A-Chem* 111(1-3):205-213; doi: 10.1016/S1010-6030(97)00229-3.

- Hodgson AI, Destailats H, Sullivan DP, Fisk WJ. 2007. Performance of ultraviolet photocatalytic oxidation for indoor air cleaning applications. *Indoor Air* 17(4):305-316; doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00479.x.
- Hoeben WFLM, Beckers FJCM, Pemen AJM, van Heesch EJM, Kling WL. 2012. Oxidative degradation of toluene and limonene in air by pulsed corona technology. *J Phys D-Appl Phys* 45(5):055202; doi: 10.1088/0022-3727/45/5/055202.
- Huang Z, Kang F, Liang K, Hao J. 2003. Breakthrough of methylethylketone and benzene vapors in activated carbon fiber beds. *J Hazard Mater* 98(1-3):107-115; doi: 10.1016/S0304-3894(02)00284-4.
- Kim J, Seo G, Cho D, Choi B, Kim J, Park H et al. 2006. Development of air purification device through application of thin-film photocatalyst. *Catal Today* 111(3-4):271-274; doi: 10.1016/j.cattod.2005.10.058.
- Kim K, Ahn H. 2012. The effect of pore structure of zeolite on the adsorption of VOCs and their desorption properties by microwave heating. *Microporous Mesoporous Mat* 152:78-83; doi: 10.1016/j.micromeso.2011.11.051.
- Ko G, First M, Burge H. 2002. The characterization of upper-room ultraviolet germicidal irradiation in inactivating airborne microorganisms. *Environ Health Perspect* 110(1):95-101.
- Kujundzic E, Matalkah F, Howard CJ, Hernandez M, Miller SL. 2006. UV air cleaners and upper-room air ultraviolet germicidal irradiation for controlling airborne bacteria and fungal spores. *J Occup Environ Hyg* 3(10):536-546; doi: 10.1080/15459620600909799.
- Lee B, Yermakov M, Grinshpun S. 2004. Removal of fine and ultrafine particles from indoor air environments by the unipolar ion emission. *Atmos Environ* 38(29):4815-4823; doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.06.010.
- Leppänen HK, Peltonen M, Täubel M, Komulainen H, Hyvärinen A. 2017. Otsonointi sisäympäristöissä - kirjallisuuskatsaus. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-302-837-1>.
- Liang Y, Wu Y, Sun K, Chen Q, Shen F, Zhang J et al. 2012. Rapid inactivation of biological species in the air using atmospheric pressure nonthermal plasma. *Environ Sci Technol* 46(6):3360-3368; doi: 10.1021/es203770g.
- Lin C, Li C. 2003. Inactivation of microorganisms on the photocatalytic surfaces in air. *Aerosol Sci Technol* 37(12):939-946; doi: 10.1080/02786820390230352.
- Lin L, Chen H, Su T, Hong G, Huang L, Chuang K. 2011. The effects of indoor particle exposure on blood pressure and heart rate among young adults: An air filtration-based intervention study. *Atmos Environ* 45(31):5540-5544; doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.014.
- Lorimier C, Le Coq L, Subrenat A, Le Cloirec P. 2008. Indoor air particulate filtration onto activated carbon fiber media. *J Environ Eng -ASCE* 134(2):126-137; doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2008)134:2(126).
- Luengas A, Barona A, Hort C, Gallastegui G, Platel V, Elias A. 2015. A review of indoor air treatment technologies. *Rev Environ Sci Bio-Technol* 14(3):499-522; doi: 10.1007/s11157-015-9363-9.
- Maness P, Smolinski S, Blake D, Huang Z, Wolfrum E, Jacoby W. 1999. Bactericidal activity of photocatalytic TiO₂ reaction: Toward an understanding of its killing mechanism. *Appl Environ Microbiol* 65(9):4094-4098.

- McDonald E, Cook D, Newman T, Griffith L, Cox G, Guyatt G. 2002. Effect of air filtration systems on asthma - A systematic review of randomized trials. *Chest* 122(5):1535-1542; doi: 10.1378/chest.122.5.1535.
- Miller S, Macher J. 2000. Evaluation of a methodology for quantifying the effect of room air ultraviolet germicidal irradiation on airborne bacteria. *Aerosol Sci Technol* 33(3):274-295; doi: 10.1080/027868200416259.
- Mo J, Zhang Y, Xu Q, Lamson JJ, Zhao R. 2009. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air: A literature review. *Atmos Environ* 43(14):2229-2246; doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.01.034.
- Offermann F, Loiselle S, Sextro R. 1992. Performance of air cleaners in a residential forced air system. *ASHRAE J -Am Soc Heat Refrig Air-Cond Eng* 34(7):51-57.
- Park JH, Byeon JH, Yoon KY, Hwang J. 2008. Lab-scale test of a ventilation system including a dielectric barrier discharger and UV-photocatalyst filters for simultaneous removal of gaseous and particulate contaminants. *Indoor Air* 18(1):44-50; doi: 10.1111/j.1600-0668.2007.00503.x.
- Pei L, Zhou J, Zhang L. 2013. Preparation and properties of ag-coated activated carbon nanocomposites for indoor air quality control. *Build Environ* 63:108-113; doi: 10.1016/j.buildenv.2013.02.010.
- Ragazzi M, Tosi P, Rada EC, Torretta V, Schiavon M. 2014. Effluents from MBT plants: Plasma techniques for the treatment of VOCs. *Waste Manage* 34(11):2400-2406; doi: 10.1016/j.wasman.2014.07.026.
- Sidheswaran MA, Destailats H, Sullivan DP, Cohn S, Fisk WJ. 2012. Energy efficient indoor VOC air cleaning with activated carbon fiber (ACF) filters. *Build Environ* 47:357-367; doi: 10.1016/j.buildenv.2011.07.002.
- Skulberg K, Skyberg K, Kruse K, Eduard W, Levy F, Kongerud J et al. 2005. The effects of intervention with local electrostatic air cleaners on airborne dust and the health of office employees. *Indoor Air* 15(3):152-159; doi: 10.1111/j.1600-0668.2005.00331.x.
- Sublett JL. 2011. Effectiveness of air filters and air cleaners in allergic respiratory diseases: A review of the recent literature. *Curr Allergy Asthma Rep* 11(5):395-402; doi: 10.1007/s11882-011-0208-5.
- Sublett JL, Seltzer J, Burkhead R, Williams PB, Wedner HJ, Phipatanakul W et al. 2010. Air filters and air cleaners: Rostrum by the american academy of allergy, asthma & immunology indoor allergen committee. *J Allergy Clin Immunol* 125(1):32-38; doi: 10.1016/j.jaci.2009.08.036.
- Sunada K, Kikuchi Y, Hashimoto K, Fujishima A. 1998. Bactericidal and detoxification effects of TiO₂ thin film photocatalysts. *Environ Sci Technol* 32(5):726-728; doi: 10.1021/es970860o.
- Van Durme J, Dewulf J, Sysmans W, Leys C, Van Langenhove H. 2007. Efficient toluene abatement in indoor air by a plasma catalytic hybrid system. *Appl Catal B-Environ* 74(1-2):161-169; doi: 10.1016/j.apcatb.2007.02.006.
- Vildoza D, Portela R, Ferronato C, Chovelon J. 2011. Photocatalytic oxidation of 2-propanol/toluene binary mixtures at indoor air concentration levels. *Appl Catal B-Environ* 107(3-4):347-354; doi: 10.1016/j.apcatb.2011.07.035.

- Vohra A, Goswami D, Deshpande D, Block S. 2005. Enhanced photocatalytic inactivation of bacterial spores on surfaces in air. *J Ind Microbiol Biotechnol* 32(8):364-370; doi: 10.1007/s10295-005-0006-y.
- Vohra A, Goswami D, Deshpande D, Block S. 2006. Enhanced photocatalytic disinfection of indoor air. *Appl Catal B-Environ* 64(1-2):57-65; doi: 10.1016/j.apcatb.2005.10.025.
- Waring MS, Siegel JA. 2011. The effect of an ion generator on indoor air quality in a residential room. *Indoor Air* 21(4):267-276; doi: 10.1111/j.1600-0668.2010.00696.x.
- Wen Z, Yang W, Li N, Wang J, Hu L, Li J et al. 2014. Assessment of the risk of infectious aerosols leaking to the environment from BSL-3 laboratory HEPA air filtration systems using model bacterial aerosols. *Particuology* 13:82-87; doi: 10.1016/j.partic.2012.11.009.
- Yu BF, Hu ZB, Liu M, Yang HL, Kong QX, Liu YH. 2009. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. *Int J Refrig -Rev Int Froid* 32(1):3-20; doi: 10.1016/j.ijrefrig.2008.05.004.
- Zhang Y, Mo J, Li Y, Sundell J, Wargocki P, Zhang J et al. 2011. Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review. *Atmos Environ* 45(26):4329-4343; doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.041.
- Zhao P, Siegel JA, Corsi RL. 2007. Ozone removal by HVAC filters. *Atmos Environ* 41(15):3151-3160; doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.06.059.
- Zhao W, Yang Y, Dai J, Liu F, Wang Y. 2013. VUV photolysis of naphthalene in indoor air: Intermediates, pathways, and health risk. *Chemosphere* 91(7):1002-1008; doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.086.

Liite 2. Taulukko 3. Yhteenveto tutkimuksista, joissa on tutkittu eri ilmanpuhdistusmenetelmien tehokkuutta mikrobeihin

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Cheng ym. 2012	1,2 ja 3 paino% AgZ-adsorbentit poistivat mikrobeja yli 95 % 120 minuutin jälkeen. 1 paino% AgZ-adsorbentti on kustannustehokkain mikrobien poistoon. Sen antibakteerinen tehokkuus oli 90 % alle 60 minuutissa.	Adsorptio (AgZ)	Peti-tyyppisessä ratkaisussa reaktori oli pakattu Ag-Z adsorbentilla. Antibakteerisuuskokeet tehtiin 10 ja 80 tunnin sykleissä yhdeksän kertaa. Näytteet kerättiin tulo- ja poistoilmasta Andersen impaktorilla.	Bakteeripitoisuus 1311 +/- 368 cfu/m ³ , sienipitoisuus 1049 +/- 299 cfu/m ³	
Cheong ym. 2004	<i>Penicillium</i> ja <i>Cladosporium</i> sekä hiivat olivat yleisimpiä sekä sisältä että ulkoa otetuissa näytteissä. Simuloidun aktiivisuuden jälkeen mikrobipitoisuudet olivat selvästi suuremmat. Sienipitoisuudet pienenevät 35 % käytettäessä HEPA-suodattimella varustettua ilmanpuhdistinta.	Mekaaninen suodatus (HEPA)	Liikuteltavia HEPA-suodattimilla varustettuja ilmanpuhdistimia testattiin viidessä kodissa. Tutkimuksessa oli mukana myös viisi vertailukotia. Mikrobipitoisuuksia mitattiin yhdellä näytteenotto-kerralla ottamalla yhteensä 10 ilmanäytettä (sisältä ja ulkoa) mallasuute- ja dikloran 18 % glyseroliagarille. Myös aktiivisuuden vaikutusta pitoisuuksiin testattiin.	Huoneilman normaalit mikrobipitoisuudet	HEPA-suodattimet pystyvät poistamaan 35 % huoneilman sienipitoisuuksista. Tämä voi selittyä myös normaalilla hiukkasten vähenemisellä ilmasta (aktiivisuuden jälkeä).
Chuaybamroong ym. 2010	Mikro-organismit, jotka eivät olleet suodattuneet TiO ₂ päällystetyillä HEPA-suodattimilla, tuhoutuivat 60-80 % ja jopa 100 % (<i>S.epidermis</i>) fotokatalyyttisessä oksidaatiossa (reaktiossa).	Fotokatalyyttinen oksidaatio	HEPA-suodattimet päällystettiin TiO ₂ massalla. Mikrobisuspensiota sumutettiin testikammioon 10 ⁵ -10 ⁷ cfu/ml pitoisuudella. Kammiassa ilman virtausnopeus 1440 l/min. Käytössä UVA-lamppu intensiteetillä 0,85 +/- 0,18 ja 4,85 +/- 0,09 mW/cm ² . Katalyytti-suodattimet sijaitsivat kammiion loppupäässä. Näytteitä verrattiin sekä ilman säteilystä sekä sen kanssa.	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , <i>Staphylococcus epidermis</i> ja <i>Bacillus subtilis</i> , 10 ⁵ -10 ⁷ cfu/ml	Fotokatalyyttiset HEPA-suodattimet ovat tehokkaita poistamaan mikrobeja.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Grinshpun ym. 2007	Noin 90 % MS2 viruksista inaktivoitui 10-60 minuutin fotokatalyyssissä oksidaatiossa. Noin 75 % <i>B.subtilis</i> bakteereista inaktivoitui 10 minuutin altistuksella ja noin 90 % tai enemmän 30 minuutin jälkeen.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	Testihuoneen, jossa sijaitsi fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin, sumutettiin virusaerosoleja (10^8 - 10^9 PFU/ml) ja bakteeriaerosoleja (10^8 - 10^9 CFU/ml). Näytteet kerättiin Button-keräimillä: 10,15, 30 ja 60 minuutin ajanjaksoissa.	<i>Bacillus subtilis</i> 10^8 - 10^9 CFU/ml, MS2 virus 10^8 - 10^9 PFU/ml	
Kim ym. 2006	Fotokatalyyssi tuhosi soluista: 99,99 - 99,998, riippuen mikrobilajista.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	TiO ₂ -fotokatalysaattori valmistettiin Hydrothermal-menetelmällä käyttäen titaani-isopropoksidia prekursorina. Ilmanpuhdistinlaite koostui esisuodattimesta, 5 (kerroksesta) fotokatalysaattori-päällysteisistä keraamisista suodattimista ja 8 mustavalo-lampusta.	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Serratia marcescens</i> , Influenza virus A	Ilmanpuhdistin varustettuna fotokatalyyssisuodattimilla on tehokas steriloimaan mikrobeja.
Ko ym. 2002	Sekä seinällä että katossa olevien UVGI-laitteiden yhtäaikaista käyttöä ilman tuuletinta vähensi <i>S.marcescens</i> pitoisuuksia 46 %, ilman vaihtuessa 2 kertaa tunnissa. Kun ilmanvaihtoa tehostettiin 6 kertaa tunnissa, pienenevät pitoisuudet 53 %. Vastaavasti kun tuuletinta käytettiin lisänä, pitoisuudet pienenevät 62% (2x/h) ja 86 % (6x/h). BCG-pitoisuudet pienenevät 52 % (6x/h) kun käytettiin pelkästään katossa olevia UVGI-laitteita ja 64 % kun käytettiin sekä katossa että seinissä olevia laitteita.	UVGI	UVGI-laitteet testikammiossa sijaitsivat sekä seinällä että katossa. <i>Serratia marcescens</i> ja <i>Mycobacterium bovis</i> Calmette-Guérin (BCG) aerosolit tuotettiin kammioon nopeudella $1,5 \times 10^6$ CFU/min. Näytteet kerättiin Andersen impaktorilla. Kammion ilmanvaihtoa pystyttiin muuttamaan 2 kertaa tunnissa/ 6 kertaa tunnissa. Lisäksi käytettiin ilmaa sekoitettavaa tuuletinta.	<i>Serratia marcescens</i> , <i>Mycobacterium bovis</i> Calmette-Guérin (BCG), $1,5 \times 10^6$ CFU/min.	UV:n tehokkuuteen vaikuttavat UV-laitteiden määrä, tuuletinajan käyttö ja ilmanvaihdon tehokkuus.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Kujundzic ym. 2006	Keskimääräiset mikrobipuhdistaan ilman tuotto (CADRm) arvot olivat 26-981 m ³ /h riippuen ilmanpuhdistimesta, ja 1480-2370 m ³ /h, mikäli ilmanpuhdistimen lisäksi oli käytössä myös UVGI-laitteisto. Tulos oli riippumaton tunnistusmenetelmästä (viljely, suoramikroskopiointi ja optinen hiukkaslaskuri). Ilmanpuhdistimen sisäinen UV-C-lamppu ei tuonut lisää puhdistustehoa. Tosin se itsessään tuhosi 75 % sienitiöistä ja 97 % bakteerisoluista suodattimella. Ionisaattori varustettuna UV-C lampulla tuotti otsonia 33 ppb.	UV + absorptio/ UV+ ionisaatio/ionisaatio/sähköinen presipitaatio	Kuutta ilmanpuhdistinta testattiin: 3 ilmanpuhdistinta sisälsivät kuitusuodattimen ja UV-lampun, kaksi ionisaattorin (joista toisessa UV-lamppu) ja yksi sähköisen presipitaattorin. Lisäksi testattiin UVGI-laitteistoa. Bioaerosoleja sumutettiin testihuoneeseen 0,12 - 0,33 ml/min vauhdilla, niin että bakteeripitoisuus oli 10 ⁸ - 10 ¹² solua/m ³ ja sienipitoisuus noin 10 ⁶ itiötä/m ³ . Ilmanäytteet kerättiin Impinger- ja SKC BioSampler-keräimillä. Mikrobipitoisuuksia mitattiin viljelyllä, suoramikroskopiolla ja optisella hiukkaslaskurilla.	<i>Mycobacterium parafortuitum</i> , <i>Micrococcus luteus</i> : 10 ⁸ - 10 ¹² solua/m ³ , <i>Aspergillus versicolor</i> : 10 ⁶ itiötä/m ³	Ilmanpuhdistimet itsesään tai yhdistettynä UVGI-laitteistoihin pystyvät poistamaan/inaktivoimaan bioaerosoleja tehokkaasti.
Liang ym. 2012	Alle 2 % <i>B. subtilis</i> aerosoleista selvisi plasmakäsittelystä (0,12 s), kun taas <i>P. fluorescens</i> aerosolit eivät selvinneet ollenkaan. 0,06 sekunnin käsittely tuhosi yli 95 % bakteereista ja 85-98 % sienistä.	Plasma	Plasmaa tuotettiin DPD-menetelmällä. Bioaerosolit sumutettiin testikammioon nopeudella 4,2 l/min, jossa plasmaa. BioSampler-keräimellä otettiin vertailu- ja altistusnäytteitä 15 minuutin välein. Näytteet laimennettiin 10 kertaaisesti ja viljeltiin. Näytteet analysoitiin myös DGGE ja qPCR menetelmillä.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Plasmamenetelmä voisi olla tehokas sisäilman mikrobien dekontaminaatiomenetelmä.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Lin & Li 2003	Suurempi mustanvalon tehokkuus inaktivoi mikro-organismeja tehokkaammin. Ei pelkästään fotokatalyyysillä vaan myös fotolyysillä oli vaikutusta <i>P.citrinum</i> -pitoisuuksiin. Fotolyysi oli jopa tehokkaampi <i>B.subtilis</i> -pitoisuuksien osalta.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	Tutkimuksessa oli mukana kaupallinen TiO ₂ -suodatin sekä itse tehty fotokatalyyttisaattori: TiO ₂ päällystettiin mikroskooppilasin himmeällä osalla. Käytetyt mustanvalon voimakkuudet: 240, 740, 1400 ja 2100 µW/cm ² . Säteilytysajat: 1,2,3 ja 4 tuntia.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Penicillium citrinum</i> , 5 x 10 ⁷ cfu/ml	
Maness ym. 1999	Melondialdehydin (MDA) tuotannossa havaittiin eksponentiaalinen kasvu, joka kuvastaa myös solukuolemaa. Tähän liittyvä soluhengitys aktiivisuus laski 77-93 %. Kaikki nämä vaikutukset olivat riippuvaisia sekä valosta että TiO ₂ -päällysteestä.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	TiO ₂ lisättiin <i>E. coli</i> soluihin, deionisoidussa vedessä, pimeässä. Näitä päällystettyjä soluja altistettiin UV-valolle, joka tuotettiin kahdella 40 W mustanvalon lampulla. Näytesuspensioita otettiin sekä ilman UV-altistusta sekä altistuksen kanssa ja ne kasvatettiin Luria-Bertani kasvatusalustoilla. Solukalvon muutoksia lipidiperoksidaation johdosta seurattiin mittaamalla melondialdehydin (MDA) tuotantoa.	<i>Escherichia coli</i>	TiO ₂ fotokatalyyysi edistää solujen ulkokalvon fosfolipidien peroksidaatiota.
Miller & Macher 2000	15 W UV-lamput vähensivät 50 % <i>Bacillus subtilis</i> ja <i>Micrococcus luteus</i> pitoisuuksista. <i>Escherichia coli</i> pitoisuudet pienenevät lähes 100 %. Noin 4-6 ilmanvaih- tokertaa/ tunti sää- vutettiin <i>B.subtilikselle</i> kun käytössä oli yksi tai kaksi UV-lamppua.	UVGI	Testihuoneeseen sumutettiin bioaerosoleja nopeudella 0,12-0,33 ml/min. Suspensioiden bakteeripitoisuus oli yli 10 ⁹ solua/ml. Seinällä oli sijoitettuna 15 W UV-lamppuja. Huoneessa oli lisäksi tuuletin. Ilmanäytteet kerättiin Impinger-keräimillä 5-7 pisteestä. Näytteet analysoitiin viljelyllä.	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Micrococcus luteus</i> , <i>Escherichia coli</i>	UVGI on varsin tehokas menetelmä, joka riippuu useasta tekijästä, tärkeimpänä kohde-mikro-organismi.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Sunada ym. 1998	TiO ₂ fotokatalyysi aiheuttaa bakteerien tuhoutumista sekä myös endotoksiiniaktiivisuuden vähentymistä.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	TiO ₂ päällystetylle lasille lisättiin mikrobisuspensioita ja niitä altistettiin 15 W mustalle valolle.	Endotoksiini, <i>Escherichia coli</i> 2 x 10 ⁵ cfu/ml	TiO ₂ fotokatalyysi on käyttökelpoinen menetelmä ympäristösuojeluun, erityisesti sairaalaympäristöissä.
Vohra ym. 2006	"Tehostettu" fotokatalysaattori tuhosi mikrobeja yhden suuruusluokan verran enemmän kuin "tavallinen" TiO ₂ -fotokatalysaattori.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	TiO ₂ P25:een lisättiin hopea-ioneja. Suodattimet päällystettiin tällä fotokatalyytillä. Laitteisto koostui ilmaa kierrättävästä kanavasta, reaktori-osasta ja puhaltimesta. Mikrobeja sumutettiin kanavaan, jossa sijaitsi myös UV-lamppu ja katalyyttinen suodatin. Näytteet kerättiin alavirrasta kasvatusalustoille.	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Aspergillus niger</i> ja MS2 bakteriofagi	Tätä "tehostettua" fotokatalyysiä voidaan käyttää tehokkaaseen mikrobien poistamiseen.
Wen ym. 2014	HEPA suodattimet suodattivat <i>Serratia marcescens</i> bakteereita 99.9825 - >99.9999 %.	Mekaaninen suodatus (HEPA)	Bioturvallisuusluokan-3 HEPA suodattimia testattiin laboratorioissa, joissa <i>Serratia marcescens</i> bakteeria (yht. 30 ml) sumutettiin huoneilmaan 10 l/min nopeudella. 1. HEPA-suodatin sijaitsi laboratorion seinässä ennen poistoilma-aukkoa ja 2. HEPA-suodatin poistoilmanvaihtokanavassa. Ilmanäytteitä otettiin ennen ja jälkeen 1. ja 2. suodattimen. Näytteitä inkuboitiin 1-2 vrk 30°C.	<i>Serratia marcescens</i>	BSL-3 luokan laboratorio HEPA-suodattimet ovat tehokkaita poistamaan bakteeriaerosoleja.

Liite 2. Taulukko 4. Yhteenveto tutkimuksista, joissa on tutkittu eri ilmanpuhdistusmenetelmien tehokkuutta pienhiukkasiin

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Batterman ym. 2005	HEPA-suodattimet vähensivät PM-pitoisuuksia 30-70 % riippuen hiukkasten kokoluokasta ja asukkaiden aktiivisuudesta. Myös PM _{0,3-1,0} puoliintumisaika laski. 1-5 µm hiukkasten puoliintumisaika, CO ₂ ja VOC-pitoisuudet eivät muuttuneet.	Mekaaninen suodatus (HEPA)	Neljässä omakotitalossa, jossa tupakottiin testattiin HEPA-suodattimilla varustettuja ilmanpuhdistimia kahden kauden ajan. Ilmanvirtausta, painehäviöitä ja virrankulutusta (viite tuulettimen nopeudesta ja suodattimen täyttöasteesta) seurattiin. Kodeissa tupakottiin 15 -40 tupakkaa päivittäin. Mittausparametrejä olivat PM-massapitoisuus, PM-lukumääräpitoisuus, VOC-pitoisuus.	Tupakansavu	Asiallisesti mitoitettut HEPA-suodattimilla varustetut ilmanpuhdistimet voivat vähentää PM-pitoisuuksia huomattavasti kodeissa, joissa tupakoidaan.
Cheong ym. 2004	Pienhiukkaspitoisuudet pienenevät 38 %.	Mekaaninen suodatus (HEPA)	Liikuteltavia HEPA-suodattimilla varustettuja ilmanpuhdistimia testattiin viidessä kodissa. Tutkimuksessa mukana myös viisi vertailukotia (joissa ei ilmanpuhdistinta). PM-pitoisuuksia mitattiin P-Trak-keräimellä. Myös aktiivisuuden vaikutusta pitoisuuksiin testattiin.	Huoneilman normaalit PM-pitoisuudet	HEPA-suodattimet pystyvät poistamaan 38 % huoneilman PM-pitoisuuksista.
Davis ym. 1994	Tehokkuudet vaihtelivat 0-32% PM _{0,5} hiukkasille, 35-86 % PM _{4,0} hiukkasille. Eri tekniikoilla ei ollut eroa suodatustehokkuudessa.	Erilaisia suodatusmenetelmiä: kuitusuodatin, sähköinen suodatin ja hiilisuodatin	11 kaupallista ilmanpuhdistinta. Hiukkaspitoisuuksia mitattiin optisella hiukkaslaskurilla ja monikanava-analysaattorilla.	PM _{0,5} , PM _{4,0}	Eri tekniikoilla ei eroa hiukkasten suodatustehokkuudessa.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Offermann ym. 1992	Tehokkuudet: paneelisuodattimet 2-3 %, laajapintasuo-dattimet 71-73 %, sähköiset presipitaattorit 4-69%.	Mekaaninen suodatus (paneelisuodattimet, laajapintasuo-dattimet), sähköinen presipitaatio	Kenttäkoe: 2 paneelisuodatinta, 2 laajapintasuo-dattinta ja 2 sähköistä presipitaattoria.	Tupakansavu 1-2x10 ⁵ hiukasta/cm ³	Laajapintasuo-dattimet ja sähköiset presipitaattorit ovat tehokkaampia kuin yksittäiset paneelisuodattimet.
Lee ym. 2004	97 % poistotehokkuus 0,1 µm hiukkasille ja 95 % 1 µm hiukkasille.	Ionisointi	Testikammiossa testattiin kolmea kaupallista ionisaatioon perustuvaa ilmanpuhdistinta. ELPI-impaktoria (Electrical low pressure impactor) käytettiin mittaamaan pienhiukkasten pitoisuutta ja aerodynaamista hiukkaskokoa. Savugeneraattoria käytettiin tuottamaan tilaan "taustapitoisuutta".	0,04 -2 µm hiukkaset	Hiukkasten koolla ei havaittu olevan suurta merkitystä poistotehokkuudessa.
Lorimier ym. 2008	Huopasuodattimen poistotehokkuus oli 74 %.	Adsorptio	Viittä aktiivihiilikuiduista tehtyä suodatinta testattiin: huopa, liina, neulottu kangas, ja kaksi sekoitusta aktiivihiili- ja lasikuituja. Testiputkeen syötettiin ja sekoitettiin varaimattomia hiukkasia. Tulo- ja poistoaukoista mitattiin hiukkaspitoisuutta ja kokojakaamaa.	0,2 - 10 µm hiukkaset	Mitä homogeenisempi aktiivihiilikuitujen järjestys, sitä parempi suodatustehokkuus. Myös useampi kuitukerros parantaa tehokkuutta.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Park ym. 2008	PM _{2,5} massa-pitoisuudet pienenevät 79,5 % ja submicron-pitoisuudet 76,3 %.	Fotokatalyysi ja plasma	Testi koostui kammiosta, hiukkasgeneraattorista, ilmanvaihdesta (jossa myös ilmanpuhdistus: fotokatalyysi ja DBD-menetelmä) ja mittaussysteemitä. Kokonais- ja massakonsentraatiota mitattiin SMPS (Scanning mobility particle sizer) -luokittelijalla ja APS aerodynaamisella hiukkaskokoanalysaattorilla.	PM _{2,5} ja submicron-hiukkaset	

Liite 2. Taulukko 5. Yhteenvedo tutkimuksista, joissa on tutkittu eri ilmanpuhdistusmenetelmien tehokkuutta kemiallisiin yhdisteisiin

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Chen ym. 2005	Adsorptiolla pystyttiin poistamaan yli 90 % suurimmasta osasta VOC -yhdisteitä. Aktiivisella hiilellä ei yksinään pystytty adsorboimaan dikloorimetaania, formaldehydiä ja asetaldehydiä. Kuitenkin lisäämällä aktiivisen alumiinin ja kaliumpermanganaatin seosta, nämä VOC:t pystyttiin adsorboimaan. Vihersuodatus poisti tehokkaasti <i>n</i> -heksanaalia, formaldehydiä ja asetaldehydiä.	Adsorptio, fotokatalyyttinen oksidaatio, otsonointi, plasma ja vihersuodatus	Viittätoista ilmanpuhdistinta, joissa oli käytössä eri tekniikkaa, testattiin kammiossa. Kammioon syötettiin 16 eri VOC-yhdistettä ja otsonia.	Formaldehydi ja asetaldehydi 2 mg/m ³ , muut VOC:t 1 mg/m ³	Adsorptio on tehokkain kaupallinen ilmanpuhdistusmenetelmä VOC -yhdisteiden poistoon.
van Durme ym. 2007	Plasmamenetelmällä käyttäen katalyyttinä TiO ₂ ja CuOMnO ₂ /TiO ₂ poistivat tehokkaasti syntyviä NO _x -pitoisuuksia, jopa 90 %. TiO ₂ katalyytti ei poistanut O ₃ -pitoisuuksia tehokkaasti. Lisättäessä CuOMnO ₂ /TiO ₂ O ₃ -pitoisuudet pienenevät huomattavasti. Myös tolueenipitoisuudet pienenevät jopa 40-kertaisesti.	Plasma	Käytössä oli koronareaktori ja 40 kW/5 mA virtalähde. Tolueenia tuotettiin 10 l/min virtausnopeudella. Katalyytteinä käytettiin TiO ₂ ja CuOMnO ₂ /TiO ₂ .	NO _x , O ₃ ja tolueeni 99,5+ %	

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistus- menetelmä	Tutkimus- asetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Fan ym. 2009	Plasmamenetelmällä pystyttiin poistamaan bentseeniä, tolueeniä ja <i>p</i> -ksyleeniä 94 %, 97 % ja 95 %.	Plasma (kylmäplasma ja yhdistetty plasmakatalyyysi)	Käytössä oli hammaspyörä-sylinteri plasmareaktori 25 kW/5 mA virtalähteellä, reaktiokaasun tuotto ja analysointilaitteistoilla. MnO _x /Al ₂ O ₃ käytettiin katalyyttinä.	Bentseeni 1,5 ppm, tolueeni 1,4 ppm ja <i>p</i> -ksyleeni 1,2 ppm.	
Farhanian & Haghighat 2014	UV-fotokatalysointia käytettäessä VOC-yhdisteiden poistoon, syntyi sivutuotteina pääasiassa formaldehydiä ja asetalehydiä. Muita syntyviä yhdisteitä olivat mm. propionaldehydi ja krotonaldehydi. VUV lamput olivat tehokkaampia kuin UVC lamput.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	VOC-pitoisuuksia sekä tulevas-ta (inlet) että poistuvasta (outlet) ylä- ja alavirrasta mitattiin autosamplerilla, fotoakustisella kaasudektektorilla. Näytteet analysoitiin HPLC:lla, joka oli varustettu UV-detektorilla.	1-butanoli (99,9%), <i>n</i> -heksaani (96%), oktaani (95%), 2-butanoni tai metyylietyyliketoni (99,9%), asetoni (99,5%), tolueeni (99,9%) ja <i>p</i> -ksyleeni (99,9%)	UV-fotokatalysointia käytettäessä VOC-yhdisteisiin syntyy mm. formaldehydiä ja asetalehydiä.
Huang ym. 2003	Mitä suurempi absorptio pinta-ala, sitä parempi poistotehokkuus (kun pitoisuus yli 100 ppm).	Adsorptio	Metyylietyyliketoni ja bentseeniä johdettiin nopeudella 60 ml/min teräsputkeen, jossa absorbeetit sijaitsivat.	Metyylietyyliketoni ja bentseeni	Aktiivihiihi-suodattimet pystyvät poistamaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä sisäilmasta.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Kim & Ahn 2012	Faujasiitti adsorboi erilaisia VOC-yhdisteitä tehokkaimmin, johtuen sen suuresta pinta-alasta. Mikroaaltouunia käyttämällä havaittiin tehokas VOC-yhdisteiden desorptio. Tämä oli suurinta 13 x molekyyliseulalle, johtuen sen sylinterisestä huokosrakenteesta.	Adsorptio	Adsorbenttina käytettiin useita eri zeoliitteja. VOC-yhdisteitä syötettiin jatkuvalla kontrolloidulla pitoisuudella, haihduttamalla VOC-yhdisteet heliumin avulla. Virtausnopeus 40 ml/min. Pitoisuutta mitattiin kaasukromatografilla, joka sisälsi TCD-detektorin. Adsorboituneet VOC-yhdisteet irroitettiin käyttämällä puhdasta heliumvirtaa 25 °C 1h. Mikroaaltouunia käytettiin desorptiossa lämmitykseen.	Bentseeni (3,58 mol%), tolueeni (5,90 mol%), o-ksyleeni (0,97 mol%), m-ksyleeni (0,95 mol%), p-ksyleeni (1,80 mol%), metanoli (2,88 mol%), etanoli (4,42 mol%), isopropanoli (9,94 mol%) ja metyylietyyliketoni (MEK, 4,99 mol%)	Faujasiitti zeoliitti adsorboi tehokkaasti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä.
Quicy ym. 2010	Tolueenipitoisuudet pienenevät 30-90 %. Tolueenin poistotehokkuus kasvoi kun TiO ₂ -filmin paksuutta kasvatettiin 500 nm saakka (tätä suuremmalla paksuudella ei ollut enää merkitystä).	Fotokatalyyttinen oksidaatio	Ilmavirtaus vaihteli välillä 4 l/min - 125 ml/min, jonka vuoksi "residence time" vaihteli 100 ms < t < 2 s. Kokeet tehtiin RH:n vaihdelta 0 %-66 %.	Tolueeni 10-500 ppbv	Sekä "residence time" että RH voidaan optimoida haitallisten sivutuotteiden syntymisen ehkäisemiseksi. Katalyytin paksuudella on merkitystä tolueenin poistotehokkuudessa.

Lähdejulkaisu	Tulokset	Käytetty ilmanpuhdistusmenetelmä	Tutkimusasetelma	Epäpuhtaus, pitoisuus	Päätelmät
Sidheswaran ym. 2012	Kun suodatinta lämmitettiin (150 °C) VOC -pitoisuudet pienenevät 70-80 %. Ulkoilmaa käytettäessä pitoisuudet vähenivät puolestaan 50-60 % ja tämä oli energiatehokkaampaa. Aktiivihiili suodatti formaldehydiä heikommin, parhaimmillaan lämmitetyllä suodattimella 25-30 %.	Adsorptio	Adsorbenttina käytettiin aktiivista hiiltä. Kokeessa simuloitiin 12 tunnin ja 24 tunnin "ihmisten läsnäolo". Kolmea eri menetelmää käytettiin: melko puhdas ulkoilma, kosteutettu ulkoilma ja lämmitetty suodatin. VOC näytteet kerättiin Tenax-putkiin 1 tunnin ajan, nopeudella 30 ml/min. Näytteet analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrillä.	Tolueeni, bentseeni, o-ksyleeni, 1-butanoli, limoneeni, undekaani ja formaldehydi. Pitoisuus 20-30 ppb.	Mallin mukaan aktiivihiilisuodatin yhdistettynä 50 % ilmanvaihdon vähentämiseen pienentää sisäilman VOC -pitoisuuksia 60-80 % ja formaldehydipitoisuuksia 12-40 %.
Vildoza ym. 2011	2-propanoli- ja tolueeniseoksen pitoisuutta pystyttiin vähentämään jopa 100 % suhteellisen ilman kosteuden ollessa 0 %. Vastavasti kun ilman kosteus oli 60 % tolueenipitoisuus laski vain 50 %.	Fotokatalyyttinen oksidaatio	RH vaihteli välillä 0 % - 60 %, lämpötilan ollessa vakio 25 °C. Epäpuhtautta tuotettiin virtausnopeudella 300 ml/min. Katalyyttinä käytettiin TiO ₂ . Näytteet analysoitiin ATD-GC-MS ja GC-PDHID -laitteistoilla.	2-propanoli ja tolueeni, 80-400 ppbv	Suhteellisella ilmankosteudella on huomattava merkitys poistettaessa VOC-yhdisteitä fotokatalyyttisellä oksidaatiolla.
Zhao ym.2007	LTO IV-suodattimet pystyvät poistamaan otsonia: uudet suodattimet 0-9 %, käytetyt suodattimet: 10-41 %. Käytetyt suodattimet tehokkaampia kuin uudet.	Mekaaninen suodatus	Huoneilmaa syötettiin teräskammioon, johon sekoitettiin otsonia. Ilmaa johdettiin 20 l/min nopeudella suodattimelle. Otsonipitoisuutta mitattiin ennen ja jälkeen suodattimen.	Otsonipitoisuus 80 ppb	suodattimen materiaali, ilmavirta ja -nopeus sekä epäpuhtauksien laatu vaikuttavat poistotehokkuuteen.

LIITE 3.

Taulukko 1. Ilmanpuhdistimien tekninen suoriutuminen. Tiedot kerätty Helsingin Sanomien julkaisemista testeistä vuosina 2008 ja 2012 sekä TM Rakennusmaailman julkaisemasta testistä vuonna 2012. Tiedot vastaavat laitteiden ominaisuuksia testien julkaisuhetkellä.

HS:n 2008 ja 2012 sekä TM Rakennusmaailman 2012 testit														
Valmistaja	Laite	Hinta €	Puhdistustapa	Teho-asetuksia	Suodattimen vaihdon ilmaisin	Liikuteltavuus	Paino (kg)	Pinta-ala (m2) / Tilavuus (m3)	Äänenpaine-taso (dB) tai "HS:n v. 2012 testin melu-tasomääre"	Sähkö-tehon tarve (W)	Tuottaako otsonia	Suodatusteho: hiukkasia jäljellä testin jälkeen min/max teholla (%)	Suhteellinen puhdistusteho (%) ultrapienet (30-100nm) / karkeat hiukkaset #	Takuu (vuotta)
3M	Filtrete Ultra Slim FAP04-RS-2	240-276	Sähköisesti varattu kuitusuodatin	3				27-36 m2	"astian-pesukone"		Ei	12**		2
Bionaire	BAP-825	175	Esisuodatin + HEPA/aktiivihiili + ionisaattori	3	Kyllä	Kahva	4,6	15-29 m2	42-58	48	Ei havaittu	12 / 20*		
Bionaire	BAP 9424	89-159	HEPA + erikseen kytkettävä ionisaattori	3				28-35 m2	"astian-pesukone"			12**		2
Bionaire	BAP1700	263	Esisuodatin + HEPA + erikseen kytkettävä ionisaattori				5,4	84 m2	37-51	30-71	Kyllä (1,8 ppb = ionisaattori käynnissä)		23 / 51	2
Biozone	90	420	UV-lamppu tuottaa fotoplasmaa	3	Ei suodattimia	Seinäkiinnitys	0,9	2 m2	34-42	14	Kyllä (0,042 ppm)	68 / 67*		
Boneco	2055D	369	Ilma muovilevyjen läpi vesialtaassa, jossa hopeionisointiin perustuva antibakteerinen suojus	2	Ei suodattimia		5,9	1 m2	34-50		Ei havaittu	76 / 76*		
Daikin	MC70 LVM	520-660	Ionisaattori (sähkösuodatin, sähköisesti varattu kuitusuodatin ja fotokatalyyttinen suodatin)	5				20-34 m2	19-49	6-60	Kyllä (4,0 ppb)	16**	32 / 63	3
De Longhi	DAP 700	175	Esisuodatin + aktiivihiili + HEPA + ionisaattori	3	Ei	Myös seinäkiinnitys	3,7	8 -18 m2	39-56		Ei havaittu	17 / 33*		
Electrolux	Oxy3Silence Z 8020	399	2 esisuodatinta + sähkösuodatin + aktiivihiili	3	Kyllä	Kahva	8	10-39 m2	30-60	55	Ei havaittu	9 / 27*		
Electrolux	Oxygen Z 9124	231-299	HEPA + aktiivihiili	5				42-73 m2	21-54	3-64	Ei	8**	30 / 67	2
ElixAir	E400	700	Esisuodatin + sähkösuodatin + aktiivihiili	2	Ei	Pyörät	14	18-34 m2	32-46 / 24-38	30-40	Kyllä (0,014 ppm / 2,1 ppb)	10 / 17*	20 / 49	3
IQ Air	Health Pro 150	1000	Suodatus (esi + aktiivihiili + hyperhepa)	6	Kyllä	Pyörät alla, kahva	16	12-55 m2	37-68 / 28-60	21-141	Kyllä (0,2 ppb)	6 / 24*	45 / 75	3
Ikea	Patrull	79-99	Sähköisesti varattu kuitusuodatin	3	Ei			11-14 m2	"hiljainen musiikki"		Ei	26**		
LightAir	IonFlow 50 Style	450	Ionisaattori (ei puhallinta)	-				2 m2	0	4-5	Kyllä (0,3	63**	33 / 32	10
OBH			Ionisaattori (sähkösuodatin) + aktiivihiili	5				6-7 m2	"hiljainen musiikki"		Kyllä (vähäisiä	40**		2
Nordica	Pure Comfort	199-249												
Plymovent	Grace Mediamax	595	Esisuodatin + MediaMax + aktiivihiili				13	40 m2	26-48	10-53	Ei		30 / 66	1
Vihreällä merkityt: Ko. merkisiä laitteita (valmistaja) ollut käytössä kuntakyselyn perusteella														
* Hiukkasia jäljellä testin jälkeen (%) max teholla / min teholla (HS:n testi v. 2008)														
** Hiukkasia jäi testihuoneeseen (%) kun laitetta käytetty normaali teholla (HS:n testi v. 2012)														
# Rakennusmaailman testi: Ilmanpuhdistimien teholliset puhdistustehokkuudet määritettiin 24 tunnin mittaisessa testiajossa. Testiajo aloitettiin syöttämällä huoneeseen hiukkasaerosolia, mutta pitämällä ilmanpuhdistin poiskytkettynä. Kahden tunnin ja 41 minuutin aerosolisytön jälkeen ilmanpuhdistin kytkettiin päälle. Kun oli kulunut 21 tuntia testiajan aloituksesta, aerosolin syöttö lopetettiin, mutta ilmanpuhdistimen käyttöä jatkettiin. Mittaukset lopetettiin ja testattava ilmanpuhdistin sammutettiin 24 tunnin kuluttua testin aloituksesta. Teholliset puhdistustehokkuudet määritettiin ennen puhdistimen käynnistystä (aikaväli 2 h – 2 h 38 min) ja puhdistimen jatkumotoiminnan (aikaväli 12 h – 20 h 57 min) aikana koehuoneessa vallinneiden pitoisuustasojen suhteesta. Määritykset tehtiin neljälle eri hiukkaskokoluokalle: ultrapienet hiukkaset 1–30 sekä 30–100 nm, pienhiukkaset 100–1 000 nm ja karkeat hiukkaset 1 000–3 200 nm.														

Taulukko 2. Ilmanpuhdistimien tekninen suoriutuminen. Tiedot kerätty yritysten toimittamista testausselesteita alkuvuonna 2017.

Yritysten antamat testitulokset															
Valmistaja	Laite	Hinta €	Puhdistustapa	Teho- asetuksia	Suodattimen vaihdon ilmais	Liikuteltavuus	Paino (kg)	Pinta-ala (m ²) / Tilavuus (m ³)	Äänenpaine- taso (dB)	Sähkö- tehon tarve (W)	Tuottaako otsonia	Erotusaste (%)	Ilmavirtaus (m ³ /h)	Puhtaan ilman tuotto (CADR = Clean Air Delivery Rate) m ³ /h	Takuu (vuotta)
Airocide	DS		Fotokatalyyttinen oksidaatio			Myös seinäkiinnitys	4	75 m ³	41	60	Ei				2
Airocide	GCS 25		Fotokatalyyttinen oksidaatio			Myös seinäkiinnitys	8	150 m ³	42	73	Ei				2
Airocide	GCS 50		Fotokatalyyttinen oksidaatio			Myös seinäkiinnitys	17	750 m ³	46	214	Ei				2
Airocide	GCS 100		Fotokatalyyttinen oksidaatio			Myös seinäkiinnitys	28	1500 m ³	49	462	Ei				2
Cair Oy	CAIR DEP 500	985	DEP-suodatin (kertakäyttöistä staattisella sähköllä toimiva suodatin)	2		Myös kattoon/seinälle			19-34	20	Ei		287 - 512		2
Cair Oy	CAIR DEP 900	1485	DEP-suodatin (kertakäyttöistä staattisella sähköllä toimiva suodatin)	3		Myös kattoon/seinälle	13		16-37	45	Ei		450 - 960		2
Genano Oy	310 (Nanobio E310)		ionisointi + aktiivihiihi	3		Pyörät	55		33-34	80-180	Kyllä (17,5 ppb)	99,5		250	5
Genano Oy	450		ionisointi + aktiivihiihi	3		Pyörät	65	alle 200	32-42	80-185	Kyllä (3,4-	99,5	55 - 472	450	5
Icleen	Health Prerium		Esisuodatin (F8) + kaas- ja hajusuodatin + HyperHEPA (H13)	6	Kyllä	Pyörät	16	225 m ³	22-57	20-135	Ei	99,97 (≥ 3µm)	55-450	450	1
UniqAir	UniqAir		Esisuodatin + aktiivihiihi + EPA- (H11)/HEPA-suodatin (H13)	2		Pyörät			34-39	35-77	Ei	97,10- 99,89	126 - 184	123 - 183	

Vihreällä merkityt: Ko. merkisiä laitteita (valmistaja) ollut käytössä kuntakyselyn perusteella

LIITE 4. KIRJALLISUUSKATSAUS TIIVISTÄMISKORJAUKSISTA

Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, THL ja Tero Marttila, TTY

Tiivistelmä

Rakenteiden tiivistäminen on varmistustoimenpide onnistuneelle kosteus- ja homekorjaukselle. Tiivistämiskorjaus ei sovi kaikille rakenteille, eikä sitä tule käyttää vaurioituneiden materiaalien poistoon perustuvan homevauriokorjauksen vaihtoehtona. Rakenteita ei tule milloinkaan tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa ja seuranta. Tiivistämiskorjaussuunnittelu tehdään aina kohdekohtaisesti, eikä suunnitelmia tule suoraan soveltaa muissa kohteissa, kuten ei mitään muutakaan korjausratkaisua.

Tiivistämiskorjausten suunnittelu edellyttää asiantuntemusta ja käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemista. Tiivistämiskorjauksissa käytettävillä tuotteilla ei ole viranomaisten asettamia vaatimuksia. Materiaaleille on kuitenkin olemassa yksittäisiä ominaisuuksia koskevia standardeja.

Tiivistämiskorjauksen teknisen toteutuksen onnistuminen varmennetaan työmaalla mallityön toteutuksella ja tarkoituksenmukaisella laadunvarmistusmenettelyllä. Tilojen käyttöönoton jälkeen korjausten onnistuminen varmistetaan käyttäjiltä saatavan palautteen lisäksi esimerkiksi tiiveyden pysyvyyden määräaikaistarkastuksilla. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on tarkastettava ja säädettävä ainakin laaja-alaisten tiivistämiskorjausten yhteydessä.

Tiivistämiskorjausten epäonnistumiseen johtavia syitä ovat mm. puutteet suunnitelmien laatimisessa sekä työnaikaisessa laadunvarmistuksessa sekä työvirheet. Lisätietoa tarvitaan etenkin tiivistämiskorjausten pitkäaikaiskestävyydestä sekä tiivistämiskorjausten vaikutuksista sisäilman laatuun.

1. Tiivistämiskorjauksille asetettavat vaatimukset ja käyttökohteet

1.1 Yleistä

Tiivistämistyöpajan raportin mukaan [2014] rakenteiden tiivistäminen on varmistustoimenpide onnistuneelle kosteus- ja homekorjaukselle. Tiivistämiskorjauksen kohteita ovat pääasiassa rakenteiden liitoskohdat, läpiviennit ja halkeamat. Lisäksi voidaan erikoistapauksissa käsitellä kokonaisiä seinä-, katto- tai lattiapintoja. Tiivistämiskorjauksen käyttö rajataan sellaisiin tuotteisiin, käyttötapoihin ja –laajuuksiin, joiden turvallisesta toimivuudesta on riittävästi kokemusperäistä tai tutkittua tietoa. Tiivistämiskorjaukset eivät koskaan ole ainoa korjaustoimenpide vaan aina osa muita korjaustoimenpiteitä [Laine 2014]. Tiivistämiskorjausten onnistuminen edellyttää kohdekohtaisesti oikeanlaista korjaussuunnittelua, työnaikaista valvontaa ja laadunvarmennusta [Sobott, 2014].

Tiivistämiskorjaus ei sovi kaikille rakenteille, eikä sitä tule käyttää vaurioituneiden materiaalien poistoon perustuvan homevauriokorjauksen vaihtoehtona [Tiivistämistyöpajan raportti, 2014]. Ennen tiivistämiskorjauksiin ryhtymistä on rakennuksen kunto tutkittava ja selvitettävä, onko tiivistämiskorjaus mahdollinen korjausmenetelmä ja missä laajuudessa ja millä menetelmillä se tulee tehdä [Sobott, 2014]. Tiivistämiskorjauksiin ei tule ryhtyä, kun rakenteessa on aktiivinen kosteusvaurio. Rakennusfysikaalisesti puutteellisia puurunkoisia rakenteita ei myöskään tulisi tiivistää tai ennen korjauksia on ainakin varmistuttava, ettei tiivistämällä aiheuteta kantaviin rakenteisiin lahovaurioita [Tullila, 2015].

Kosteus- ja mikrobivaurion korjaamisessa rakenteista poistetaan vaurioituneet materiaalit ja huolehditaan jätettävien rakenteiden ja pintojen puhdistuksesta mekaanisesti siinä laajuudessa ja tarkkuudessa kuin se on teknis-taloudellisesti mahdollista. Tämän jälkeen rakenne korjataan siten, että se toimii teknisesti oikein. Toteutuksen tulee olla pitkäikäinen ja varmatoiminen. Rakenteita ei milloinkaan tule tiivistää ilman tutkimuksia, suunnittelua, toteutuksen valvontaa ja korjausten jälkeistä pitkäaikaissuranta [Tiivistämistyöpajan raportti, 2014].

Tiivistämiskorjausten suunnittelu ja toteutus edellyttävät asiantuntemusta, käytettävien materiaalien ja menetelmien tuntemista sekä ammattitaitoa. Korjaussuunnittelu tehdään aina kohdekohtaisesti kokonaisuus huomioiden, eikä suunnitelmia tule suoraan soveltaa muissa kohteissa [Laine, 2014]. Jokainen korjattava rakennus on oma tapauksensa, joka pitää tutkia itsenäisesti ja jolle pitää laatia omat korjausohjeensa [Keinänen, 2009].

Esimerkiksi kapselointia suunniteltaessa on huomioitava, että rakenteiden kuivumiskyky heikkenee hallitsemattomien ilmavuotojen poistumisen sekä uusien diffuusiovastusta kasvattavien ainekerrosten lisäämisen seurauksena [Keinänen, 2009]. Maanvaraisessa laatussa kapselointiin liittyvistä riskeistä huomattavin on siitä johtuvat muutokset kosteusvirrassa. Maanvaraisen laatan lisääntyneen vesi-höyrynvastuksen ja rakennetta kuivattavien ilmavuotojen poistumisen myötä lattiaan liittyvien rakenteiden, kuten seinien, kautta kulkeva kosteusvirta nousee, mistä saattaa ajan kuluessa syntyä kosteusvaurioita näihin rakenteisiin. Tästä johtuen korjaustyön suunnittelussa tulee ottaa huomioon erityisen tarkasti vanhat rakenteet ja niiden kosteustilat. Suhteellisen lyhyen käyttöiän (5...10 vuotta) tapauksessa kosteusvirran muuttumisesta tuskin ehtii merkittäviä vaurioita syntyä, mutta pidempää käyttöikää tavoitellessa täytyy asiaan kiinnittää enemmän huomiota [Pulkkinen, 2013: J. Huttusen haastattelu 4.4.2013].

Huolellisen suunnittelun lisäksi itse korjaustyön suoritusta on valvottava huolellisesti ja oikea-aikaisesti. Töiden suorittamisessa täytyy kiinnittää huomiota jokaiseen työvaiheeseen. [Keinänen, 2009]. Esimerkiksi kapselointimenetelmässä voidaan alussa huolellisesti tehdyllä työllä helposti korjata maaperästä nousseen kosteuden aiheuttamat ongelmat, mutta liian ohuella tasoitekerroksella ja laiminlyödyillä päällystettyvyysmittauksilla tuloksena voi olla rakennekosteudesta vaurioituneen päällysteen ja liiman aiheuttamat emissiot [Pulkkinen, 2013].

Onnistuneeseen tiivistämiskorjaukseen kuuluu aina myös ilmanvaihtojärjestelmän tarkastus ja säätö. Kohteen seuraaminen myös korjauksen jälkeen on tärkeää, jotta voidaan todeta korjauksen onnistuminen tai havaita mahdolliset puutteet korjauksessa [Keinänen, 2009].

1.2 Lainsäädäntö, rakentamismääräykset, ohjeet ja viranomaisnäkökulma

Tällä hetkellä voimassa oleva Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa C2 ”Kosteus, Määräykset ja ohjeet 1998” määrittelee, mitä tiiviin sisäpinnan toteutus edellyttää. Määräystekstissä todetaan, että ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun saumat, reunat ja läpivientikohdat on tiivistettävä huolellisesti. Selostuksessa tarkennetaan, että ilmansulun ja myös tuulensuojan tulee olla tiiviit ikkunoiden ja ovien karmien kohdalla sekä seinän ja ala-, väli- ja yläpohjien liittymissä. Ilmansulun lävistykset tuuletusaukkojen, sähkörsioiden, putkien jne. kohdalla tiivistetään huolellisesti. Rakentamismääräyskokoelman osan C2 päivitystarpeiden kartoitus on käynnissä ja uudistuvassa versiossa tarkennetaan entistään sisäilmanäkökohtien huomioimista. Suomen Rakennusmääräyskokoelman osassa C3 ”Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010” todetaan, että sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 ”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012” on määrätty, että rakennuksen painesuhteet ja rakenteiden tiiviys suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne osaltaan vähentävät radonin ja muiden epäpuhtauksien siirtymistä rakennuksessa. Rakentamismääräyskokoelman osassa D3, Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2012, annetaan määräyksiä rakennusvaipan ilmatiiviydestä [Laine, 2014].

Olemassa olevien rakenteiden arvioinnissa on huomattava, että rakentamismääräyskokoelman määräykset ovat perinteisesti koskeneet uuden rakennuksen rakentamista. Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä määräyksiä on sovellettu vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa ovat edellyttäneet (ellei määräyksissä ole nimenomaisesti määrätty toisin). Rakentamista koskevien määräysten soveltaminen on tarkoitettu joustavaksi siten kuin se rakennuksen ominaisuudet ja erityispiirteet huomioon ottaen on mahdollista. Sitä mukaa, kun rakentamismääräyskokoelman osia uudistetaan, kustakin uudesta asetuksesta käy suoraan ilmi, koskeeko se uuden rakennuksen rakentamista vai rakennuksen korjaus tai muutostyötä. [Ympäristöministeriö: Rakentamismääräyskokoelma]

Asetuksena annetut ja Suomen rakentamismääräyskokoelmaan kootut rakentamista koskevat säännökset ovat velvoittavia. Ministeriön antamat ohjeet sen sijaan eivät ole velvoittavia.

1.3 Rakenteiden ilmatiiviyyttä käsittelevät ohjeet, julkaisut ja artikkelit

Rakennuksen painesuhteiden hallinnasta ja epäpuhtauksien huoneilmaan kulkeutumisen estämisestä on kerrottu Asumisterveysohjeessa [Sosiaali- ja terveysministeriö 2003], jossa todetaan, että korvausilman kulkeutuminen rakenteiden kautta on estettävä ja että rakenteet on pinnoitettava sisätilaan päin tiiviin kalvon muodostamalla pinnoitteella. Rakenteiden ilmatiiviyydestä, toteutuksesta ja tiivistämisessä käytettävistä materiaaleista on ohjeistettu Rakennusinsinööriliiton julkaisuissa RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet vuodelta 2012, vanhemmassa julkaisussa vuodelta 2000 sekä RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. [Laine, 2014].

Ympäristöministeriön julkaisussa Ympäristöopas 28, Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kunto- tutkimus vuodelta 1997 todetaan, että epäpuhtauksien kulkeutuminen huoneilmaan voidaan yleensä katkaista seinän ja lattian välisen raon huolellisella tiivistämisellä. Homehaitan poistamiseen rakenteita tiivistämällä tulee kuitenkin olla vankat perusteet. Rakenteiden ilmatiiviyyden parantamiseen liittyy myös oleellisesti ilmanvaihtojärjestelmän toiminta. Ympäristöoppaan päivitetty versio julkaistaan vuonna 2015 ja siinä tullaan käsittelemään entistä laajemmin rakennuksen vaipan ilmatiiviyyttä. [Laine, 2014]

2. Tiivistämiskorjausmenetelmät ja -materiaalit

2.1 Menetelmät

Ennen tiivistämiskorjauksia tulee selvittää syyt sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin, mahdollisten vaurioiden laajuus ja oikea korjaustapa. Tiivistämiskorjaussuunnitelmat on laadittava kohdekohtaisesti ja niissä on huomioitava laadunvarmistus sekä tavoiteltava käyttöikä [Sobott, 2014].

Korjauksen tavoitteen ollessa täysin tiivis rakenne, tulee korjaustavan valinnassa pyrkiä minimoimaan työvirheiden riski. Tiivistämisnauhoilla ja -massoilla yksinään on vaikea toteuttaa täysin tiivistä lopputulosta [Tullila, 2015].

Suunnittelija valitsee käytettävät tuotteet ja ne ilmoitetaan suunnitelma-asiakirjoissa. Käyttötarkoitukseen sopivat materiaalit valitaan huomioiden rakenteissa tapahtuvat muodonmuutokset, korjattava ongelma ja ratkaisun toimivuus. Mikäli urakoitsija haluaa käyttää vaihtoehtoisia tuotteita, on uusi tuote hyväksyttävä suunnittelijalla. Koska vielä ei ole kokemusta lukuisista eri materiaaleista ja tuotteista, on usein tarkoituksenmukaista nimetä tuotteet suunnitelmissa ilman vaihtoehtoja [Laine, 2014].

Tiivistysprosessissa huomioitavia seikkoja [Sobott, 2014]:

- Tiivistyskorjaussuunnitelmien tulee olla laadukkaita sekä kohteeseen sopivia, ja niissä tulee määrittää laadunvarmistus (esim. merkkiainekokeet) ja jälkiseuranta.
- Tiivistystyön suorittajan tulee olla riittävän kokenut ja ymmärtää, miksi tiivistystyö tehdään (esim. vedeneristyssertifikaatin omaava henkilö).
- Tiivistyskorjaustyön valvonta on vähintään yhtä tärkeää kuin tiivistyssuunnitelmien laatu.
- Työmaa-aikana tulee purkutöiden jälkeen tarkastaa, ovatko kaikki rakenteet ja liittymät lähtötietojen ja suunnitelmien mukaiset, suunnitelmat tulee päivittää mallitöiden yhteydessä.
- Tiivistyskorjausten jälkeen tulee tasapainottaa ilmanvaihto sekä suorittaa loppusiivous.
- Käyttäjää tulee informoida tehdyistä tiivistyksistä ja tilojen käytöstä niiden osalta.
- Tiivistysten kuntoa tulee seurata säännöllisesti.

2.2 Materiaalit

Tiivistämiskorjauksissa käytettäville tuotteille ei ole viranomaisten asettamia vaatimuksia. Materiaaleille on olemassa yksittäisiä ominaisuuksia koskevia standardeja. RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kos-

teudeneristysohjeet mukaan tiivistämiseen voidaan käyttää esimerkiksi saumanauhaa, tiivistämismassaa, polyuretaanivaahtoa, erikoisteippiä tai erikoisliimanauhaa. Käytettävillä tuotteilla tulee olla käyttötarkoitukseensa riittävä tartunta- ja muodonmuutoskyky, pitkäaikaiskestävyys ja ilmanpitävyys. Tiivistämismassaa, polyuretaanivaahtoa ja teippejä käytettäessä tulisi varmistaa, että tiivistämistyö on tehty riittävän leveää tartunta-aluetta käyttäen [Laine, 2014]. Tiivistämiskorjauksissa käytetään materiaaleja, jotka ovat käyttötarkoitukseensa testattuja, elastisia, hyvän silloituskyvyn omaavia ja joilla on hyvä pitkäaikaiskestävyys. Tiivistämistyöpajan raportin mukaan (2014) materiaalien tulee olla turvallisiksi testattuja, vähäpäästöisiä ja mielellään M1-luokiteltuja.

Esimerkkejä tiivistämiskorjauksissa käytettävistä materiaaleista:

- Nestemäisenä levitettävät vedeneristeet: Vedeneristemassaa ja erilaisia vahvikenauhoja sisältävää järjestelmää on käytetty tiivistämiskorjauksissa Suomessa jo yli 25 vuoden ajan. Järjestelmässä käytettävä vahvikenauha mukautuu pieniin rakenteissa tapahtuviin liikkeisiin ja siksi järjestelmä kestää rakenteissa tapahtuvia muodonmuutoksia. Vedeneristystuotteet ovat Suomessa hyvin testattuja ja sertifiointijärjestelmän piirissä olevia tuotteita. Teknologian tutkimuskeskus VTT myöntää Suomessa vedeneristystuotteiden sertifikaatit. Vedeneristeen käyttöikätaavoite on yli 30 vuotta, mutta eurooppalaisen teknisen hyväksyntäohjeen (ETAG) myötä käyttöikä on laskettu yleiseurooppalaiseksi oletusarvoksi 25 vuotta. [Laine, 2014]
- Pinnoitteet: Tiivistämiskorjauksia voidaan tehdä esimerkiksi epoksipohjaisilla pinnoitteilla. Jotkin pinnoitteet soveltuvat sekä tiivistämiskorjauksiin että kapselointikorjauksiin. Pinnoitteiden käyttökohteita ovat pääasiassa lattia-, katto- ja seinäpinnat erikoiskohteissa. Joillain joustavilla pinnoitteilla voidaan toteuttaa myös rakenteiden liikuntasauvojen tiivistäminen. Eräiden pinnoitteiden kestoikä on arvioiden mukaan yli 50 vuotta ja käytännön kokemusta Suomessa on yli 30 vuoden ajalta. [Laine, 2014]
- Joustavat massat ja vaahdot sekä pohjanauhat: Joustavia tiivistämismassoja ja vaahtoja, kuten polyuretaanivaahtoa tai palokatkoavaahtoa voidaan käyttää osana rakenteen tiivistämiskorjausta. Tiivistämiskorjauksissa käytettävät tuotteet ovat yleensä erikoistuotteita. Tavanomaiset silikoni-massat ja kitit eivät täytä tiivistämiskorjauksessa käytettävän tuotteen materiaalivaatimuksia. Joidenkin kokemusten mukaan tiivistäminen, joka tehdään ainoastaan edellä mainituilla tuotteilla, ei yleensä ole pitkäikäinen, koska tiivistämismassat saattavat rakoilla muutaman vuoden kuluttua massan alustastaan irtoamisen ja rakenteiden liitoskohtien liikkumisen vuoksi. [Laine, 2014]
- Teipit: Teipit koostuvat ohuesta ja taipuisasta tukikerroksesta sekä toisella tai kummallakin puolella olevasta liimakerroksesta. Markkinoilla on erilaisia tiivistykseen tarkoitettuja erikoisteippejä, kuten butyyliteippejä, kumipohjaisia teippejä sekä höyrynsulkuteippejä. Kaikki markkinoilla olevat teipit eivät sovellu tiivistämiskorjauksiin, vaan korjauksissa tulee käyttää vain käyttötarkoitukseen testattuja tuotteita. Teipit soveltuvat varsinkin höyrynsulkukalvojen liitoskohtien ja limityskohtien ilmatiiviiden parantamiseen selkeissä suorissa liitoskohdissa. Teipin kiinnityshetkellä alustan pölyttömyys tulee varmistaa esimerkiksi vastepintojen nihkeäpyyhinnällä, jotta tartunnasta saadaan pitävä. Rakenteiden liitosten tiiviiksi tekemisessä haasteena ovat erityisesti nurkat. Teippien pitkäaikaiskestävyydestä on vähän kenttäkokeista saatua tietoa, mutta joidenkin kokemusten mukaan laadukkailla tuotteilla saavutetaan pitkäkestoisempi lopputulos. [Laine, 2014]
- Muut rakennusmateriaalit, -tuotteet ja järjestelmät: Jotkin rakennusmateriaalit toimivat itsessään ilmansulkuna. Rakenteen ilmatiiviyttä voidaan parantaa myös erilaisilla materiaaliyhdistelmillä, kuten tiilimuurauksen pintaan asennettavalla järjestelmällä, johon kuuluu tiivis tasoite, vahvistusverkko ja pintakäsittely, kuten maali. Myös kuitukangasvahvikkeen ja tiiviin maalauskäsittelyn yhdistelmällä voidaan joissain tapauksissa parantaa rakenteen ilmanpitävyyttä. Maanvastaisissa rakenteissa esimerkiksi suolankeräys- ja vedeneristyslaastit tai injektointiratkaisut voivat samalla toimia ilmansulkuna. Ruiskurappaus tai ruiskubetonointi yhdessä esimerkiksi epoksipohjustimen kanssa ovat myös ilmanpitäviä ratkaisuja. Lisäksi ilmanpitäviä rakennusmateriaaleja ovat esimerkiksi muovilattiapäällysteet. [Laine, 2014]

- Polyamidikalvo voi soveltua kapselointimateriaaliksi muun muassa välipohjiin, koska sillä on hyvä diffuusiovastus kuivissa olosuhteissa monille haitta-aineille ja epäpuhtauksille. Lisäksi kalvo mahdollistaa kosteissa olosuhteissa rakenteiden kuivumisen. Laboratorio- sekä kenttätutkimukset osoittivat polyamidipohjaisen höyrynsulkumateriaalin toimivan kapselointimateriaalina PAH-yhdisteitä sisältävän valuasfaltin sekä kolmen eri MVOC-yhdisteen kapseloinnissa etenkin kuivissa olosuhteissa [Keinänen, 2009].

3. Laadunvarmistusmenetelmät

Tiivistämiskorjauksen teknisen toteutuksen onnistuminen varmennetaan työmaalla esimerkiksi mallityön toteutuksella ja tarkoituksenmukaisella laadunvarmistusmenettelyllä. Tiivistystyöpajan raportin [2014] mukaan aistinvaraisen tarkastuksen lisäksi tiiveys tarkastetaan esim. merkkiainelaitteella. Tilojen käyttöönoton jälkeen korjausten onnistuminen varmistetaan käyttäjiltä saatavan palautteen lisäksi esimerkiksi tiiveyden pysyvyyden määraaikaistarkastuksilla. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta on tarkastettava ja säädettävä ainakin laaja-alaisten tiivistämiskorjausten yhteydessä, sillä rakennusvaipan parantunut ilmatiiviyys voimistaa ilmanvaihdon synnyttämiä paine-eroja. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan tarkastamisen ja säätöjen tavoitteena on saada tiivistämiskorjauksen myötä muuttuneet painesuhteet hallintaan [Laine, 2014].

Korkean tiiveystason saavuttaminen tiivistämiskorjauksilla voi edellyttää tarkkaa merkkiainekokein toteutettua laadunvarmistusta [Tullila, 2015]. Laadunvarmistuksena tehtävissä merkkiainekokeissa tulee huomioida sekä eri kaasujen väliset erot että suorituksen toteutukseen liittyvät seikat [Sobott, 2014].

Koska tiivistämiskorjaukset ovat osa eri korjausten kokonaisuutta, tulee onnistumisen arvioinnissakin tarkastella koko korjauksen onnistumista. Jos esimerkiksi tiivistämistyö on tehty hyvin, mutta loppusiivous on laiminlyöty tai ilmanvaihtojärjestelmä ei toimi suunnitellusti, saattavat käyttäjät kokea korjausten epäonnistuneen.

4. Pitkäaikaiskestävyys

Tutkimustiedon puuttuessa ei tiivistämisen pitkäaikaiskestävyydestä voida tehdä pitkälle meneviä päätelmiä. Alustavien tutkimustulosten valossa voidaan todeta, että alustan käsittelyllä on suuri vaikutus tiivistyksen pitkäaikaiskestävyydelle. Paras tartunta ja siten todennäköisesti paras pitkäaikaiskestävyys tiivistyksille saavutetaan noudattamalla tiivistämismateriaalien valmistajan ohjeita alustan valmistelussa ja tiivistämismateriaalien asennuksessa. Tämän vuoksi alustan tarkastaminen ennen tiivistämismateriaalien asennusta on myös laadunvarmistustoimenpiteenä perusteltu. [Hakamäki, 2015]

Kun huolellisen suunnittelun ja valmistelun lisäksi tiivistämismateriaalien asennus tehdään oikein ja niiden tiiviys varmistetaan, voidaan lopputuloksesta odottaa kestäväää [Hakamäki, 2015]. Joidenkin arvioiden mukaan huolellisesti toteutetuissa kohteissa tiivistämiskorjaukset ovat olleet onnistuneita [Laine, 2014].

5. Tiivistämiskorjausten yleisyys

Tiivistämisratkaisuja on käytetty myös muissa kuin radonin liitettävissä sisäilmaongelmakohteissa 1990-luvulta lähtien. 2000-luvulla rakenteiden sisäpinnan ilmatiiviyden parantamiseen liittyviä korjauksia on tehty Suomessa sadoissa sisäilmaongelmakohteissa monien tahojen toimesta ja niissä käytetyt suunnitteluratkaisut ja materiaalit sekä toteutus työmaalla ja laadunvarmistusmenettely ovat alkaneet vakiintua. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakohteissa on korjausmenetelmänä kuitenkin edelleen melko uusi, eikä se ole kaikkien rakennusammattilaisten tiedossa. [Laine, 2014]

6. Syyt tiivistämiskorjausten epäonnistumisiin

Tutkittua tietoa tiivistämiskorjausten onnistumisesta on varsin vähän. Yhdessä opinnäytetyössä arvioitiin tiivistyskorjausten onnistumista merkkiainekokeiden perusteella yhdessätoista toimisto- ja palvelurakennuskohteessa, joihin oli tehty sisäpuolinen tiivistyskorjaus. Tulosten perusteella ei yhdenkään kohteen tiivistämiskorjaus ollut onnistunut täysin suunnitellusti. Suurimmaksi syyksi epäonnistumiseen arvioitiin

olevan tiivistämistyönaikainen laadunvarmistus ja siitä aiheutuneet työvirheet. Epäonnistumiseen saattoi vaikuttaa myös puutteelliset tiivistämissuunnitelmat. [Sobott, 2014]

Huolimattomuuden ja ymmärtämättömyyden arvellaan olevan yleisiä korjausten epäonnistumisen syitä. Kokemuseräisesti arvioitu tiivistämiskorjauksen epäonnistumisen yleisin syy on väärin tuotteiden ja työtekniikoiden käyttäminen. [Laine, 2014]

7. Kehitysalueet

Tiivistämiskorjausten suunnitellun kehitysalueita on erityisesti detaljisuunnittelu. Jatkotutkimustarpeena on esitetty myös MVOC-yhdisteiden läpäisevyyden selvittämistä erilaisten ilmatiiviiden materiaalien läpi sekä tuotetestauksen laajentamista [Tullila, 2015]. Lisäksi tutkimustietoa tarvitaan myös oikeaoppisesti toteutettujen tiivistämisten pitkäaikaiskestävyydestä [Hakamäki, 2015].

Rakenteiden ilmatiiviyden parantamisen vaikutuksia sekä tiivistämiskorjausten onnistumista ja vaikutusta käyttäjien oireisiin on tutkittu vain vähän. Kokemusten perusteella tiivistämiskorjauksilla on saatu sisäilmaongelmakohteissa vaihtelevia kokemuksia. Lisätietoa on esitetty tarvittavan mm. seuraavista osaluista:

- tiivistämiskorjausten merkitys ja vaikutus sisäilman laatuun
- tiivistämiskorjausmateriaalien vaikutus sisäilman laatuun
- tiivistämiskorjausten vaikutus energiankulutukseen
- detaljitason suunnitteluohjeistus kustannustehokkaista perusratkaisuista
- tiivistämiskorjausten toteuttajille ja valvojille suunnattu koulutus sekä sertifiointi
- ohjeistuksen laatiminen yhtenäiselle tiivistämiskorjausten laadunvarmistusmenettelylle
- ohjeistus ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamiselle sisäilmakorjauskohteissa
- tiivistämiskorjausten pitkäaikaiskestävyyden selvittäminen
- ilmavuotoluku tiivistämiskorjatuissa rakennuksissa. [Laine, 2014]

LÄHTEET

Hakamäki Heli. Toteutustavan vaikutus ulkovaipparakenteen sisäpinnan ilmanvuototiivistysten pysyvyyteen. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. 2015. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201511205218>

Keinänen Hanna. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. 2009.

Laine Katariina. Rakenteiden ilmatiiviyden parantaminen sisäilmakorjauksessa. Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate, Itä-Suomen yliopisto, Kuopio. Opinnäytetyöt, Rakennusterveys. 2014. https://www2.uef.fi/documents/976466/2568699/LaineKatariina_virallinen2014.pdf/3db1e1b4-23f1-42c6-93fa-165ee53fff5a

Pulkkinen Eetu. Sisäilmaongelmia aiheuttavien lattiamattojen vaihtamiset ja lattiatason tiivistykset. Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. 2013. <https://www.theseus.fi/handle/10024/57633>

Sobott Jimmy. Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset liike- ja palvelurakennuksiin. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Korjausrakentaminen. Insinööri (ylempi AMK), opinnäytetyö. 2014. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82613/Tiiveystarkastelut%20ja%20tiivistyskorjaukset%20liike-%20ja%20palvelurakennuksiin.pdf?sequence=1>

Tiivistyskorjaustyöpajan raportti/konsensusyhteenveto. Ohjeistusta rakenteiden tiivistämiseen sisäilmakorjausten yhteydessä. 26.8.2014.

Tullila Ville. Rakennusten sisäpuolisten tiivistyskorjausten suunnittelu. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennetekniikka. Diplomityö. 2015.

Ympäristöministeriön internetsivut: http://www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/rakentamismaarayskokoelma

LIITE 5. TIIVISTYSKORJAUSKYSELY KUNNILLE JA YRITYKSILLE

Mari Turunen, Ulla Haverinen-Shaughnessy, THL ja Tero Marttila, TTY

1. Tietoa kyselystä

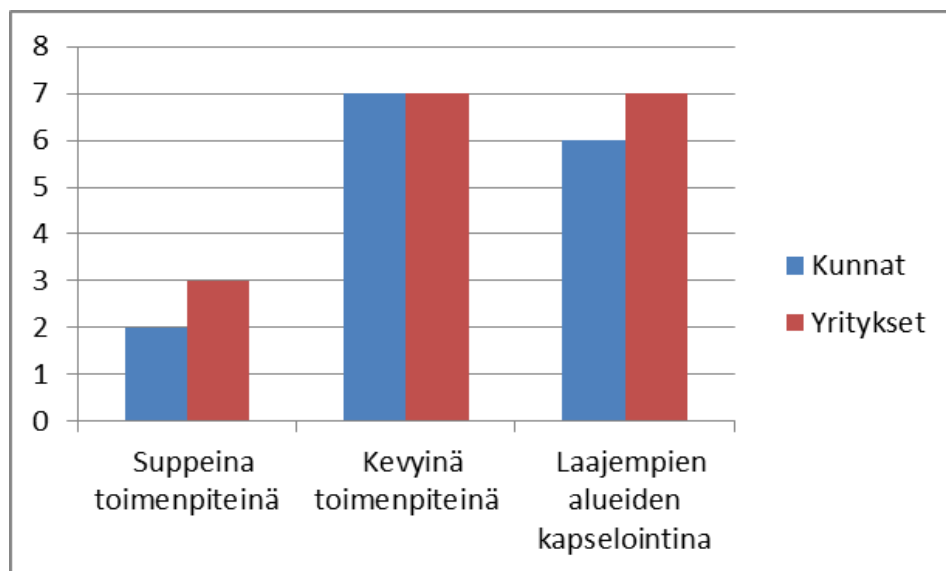
Kysely lähetettiin 22.3.2016 sähköpostitse 22 kunnalle ja 14 yritykselle. Kunnille suunnatussa kyselyssä oli 24 kysymystä ja yrityksille suunnatussa vastaavasti 29. Kysely toteutettiin sähköisenä kyselynä (Digium).

2. Tuloksia

Kyselyyn vastasi yhteensä seitsemän kuntaa (vastausprosentti 32 %) ja seitsemän yritystä (50 %). Pienen aineiston johdosta tuloksia tulkitaan pääasiassa kuvailevina ja suuntaa antavina.

Tiivistyskorjausten laajuus

Pääasiassa tiivistyskorjauksia tehdään kunnissa ja yrityksissä sekä kevyinä toimenpiteinä että laajempien alueiden kapselointina. Suppeina toimenpiteinä niitä tehdään vähemmän (kuva 1).



Kuva 1. Tiivistyskorjausten laajuus

Kapseloinnin käyttökohteet

Kunnissa kapselointia käytetään esimerkiksi matalaperustaisissa kohteissa, lattiaongelmaisissa (kosteus, radon) kohteissa sekä kohteissa, joissa rakenteiden purkaminen on mahdotonta. Osa yrityksistä käyttää kapselointia harvoin ("käytetään, jos on hyvät perusteet"), kun taas osa käyttää kapselointia kaikentyyppisissä rakennuksissa. Kolme yritystä mainitsi käyttävänsä kapselointia haitta-aineiden (esim. VOC- ja PAH-yhdisteet sekä kivihiilipiki) sulkuun. Kapselointia käytetään myös laajamittaisissa ala- tai yläpohja sekä seinä- ja kattokohteissa.

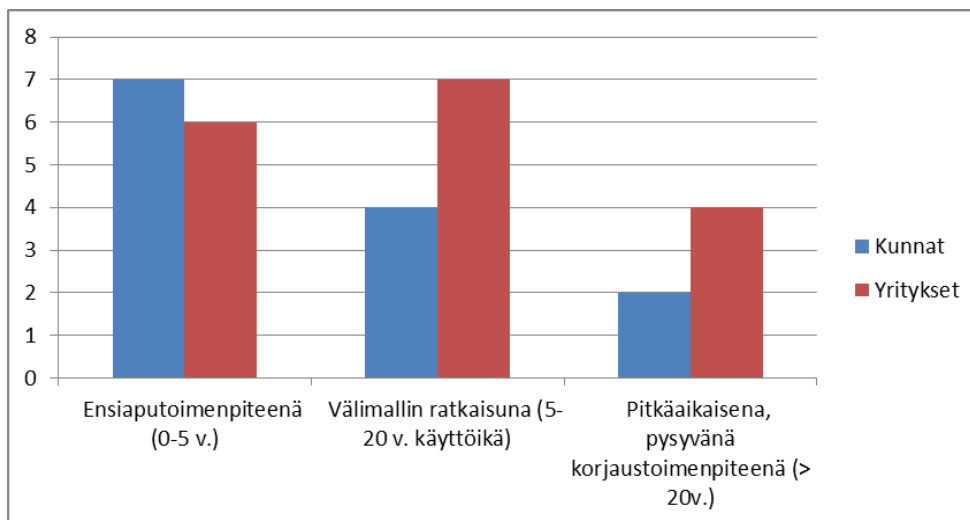
Samassa yhteydessä kysyttiin myös, kuinka liittyvät rakenteet otetaan huomioon kapselointikorjauksia tehtäessä. Kunnissa korostettiin, että asia ”huomioidaan aina” ja ”suunnittelun kautta”. Yritysten vastauksissa mainittiin, että asia käsitellään aina tapauskohtaisesti, kaikki huono materiaali poistetaan mahdollisimman tarkkaan ja kaikki rakennusfysikaaliset tekijät analysoidaan.

Yritysten käsitys tiivistämiskorjausten laajuudesta ja kustannuksista rakenteiden uusimiseen verrattuna

Neljä yritystä seitsemästä totesi, että tiivistyskorjausten tekeminen on edullisempi vaihtoehto: esimerkiksi kokonaisvaltaisessa sisäilmanteknisessä korjauksessa kustannustaso voi olla suuruusluokkana 300–400 €/m², kun taas pelkkä tiivistysauman ja pohjatöiden tekemisen kustannukset voivat olla luokkaa 80–100€/jm. Kommenteissa tuotiin esille mm. että ei-kantavien rakenteiden uusiminen on perusteltua vain, jos rakenteiden käyttöikä on lopussa. Merkittävimpänä kustannussäästömahdollisuutena pidettiin rakennuksen hallittuja huoltotoimenpiteitä. Tällöin rakenteiden uusimistarvetta esiintyy pääosin ainoastaan peruskorjausten yhteydessä.

Tiivistyskorjausten laajuus

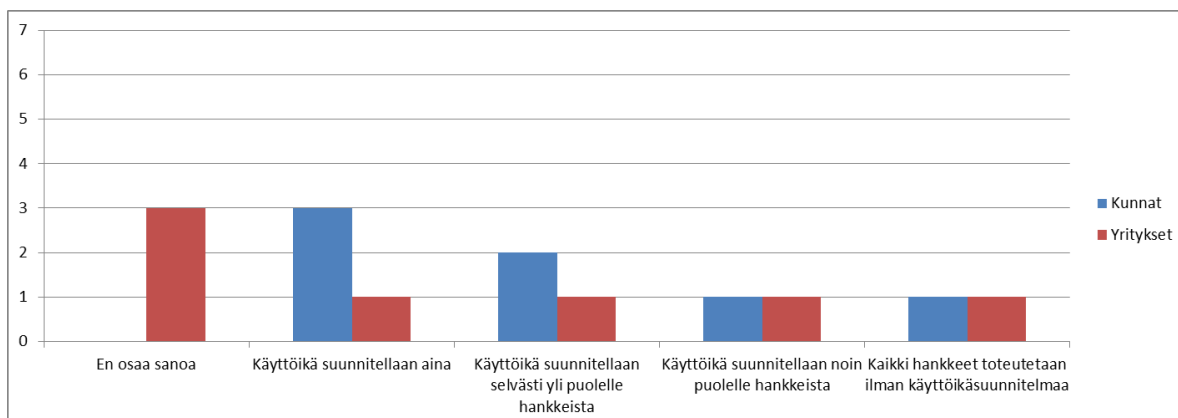
Tiivistyskorjauksia tehdään kyselyyn osallistuneissa kunnissa ja yrityksissä pääasiassa sekä ensiaputoimenpiteenä että ns. välimallin ratkaisuna (kuva 2). Kunnissa ko. korjauksia toteutetaan pääasiassa tarpeen mukaan. Yrityksissä korjausmäärät vaihtelevat noin viidestä rakennuksesta vuodessa noin 75–100 rakennukseen vuosittain.



Kuva 2. Tiivistyskorjausten laajuus

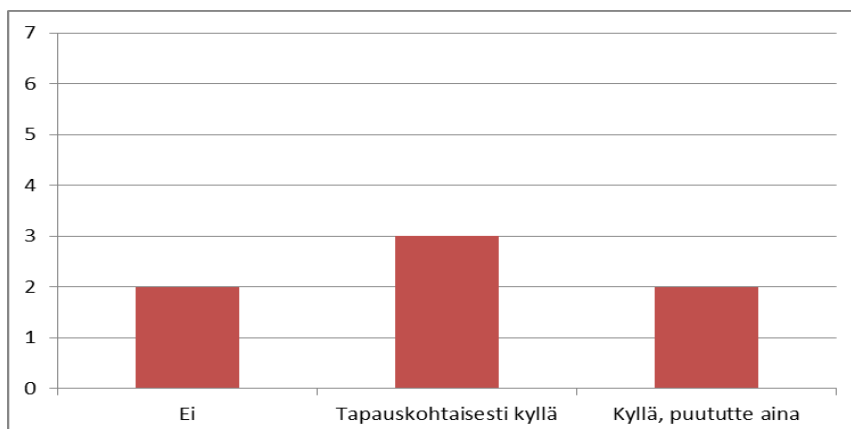
Tavoitteiden asettaminen ja korjausten käyttöikä

Kuudesta kunnasta ja kolmesta yrityksestä kerrottiin, että käyttöikä määritellään ainakin jollakin tasolla. Kolme yritys vastaajaa valitsi ”en osaa sanoa”-vaihtoehdon (kuva 3).



Kuva 3. Kuinka iso osa hankkeista toteutetaan ilman suunnitelmaa korjauksen käyttöiästä

Kuusi seitsemästä kuntavastaajasta vastasi kieltävästi kysymykseen, toteutetaanko korjauksia myös toimittajan/urakoitsijan määrittämien tavoitteiden mukaan. Pääosa vastanneista yritystä puolestaan kertoi määrittävänsä käyttöikätaavoitteen tiivistämiskorjaukselle joko tapauskohtaisesti tai niissä tapauksissa, joissa tilaaja ei ole sitä tehnyt tai tavoite on epärealistinen (kuva 4). Ainakin epärealistisiin tavoitteisiin pyritään puuttumaan.



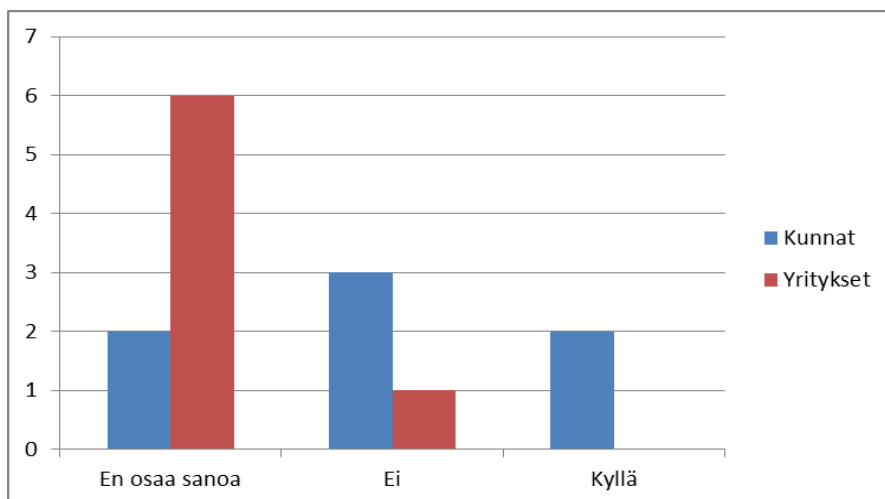
Kuva 4. Määrittävätkö yritykset itse kirjallisen käyttöikätaavoitteen tiivistämiskorjaukselle

Kuntien vastausten perusteella korjausten käyttöiän rajallisuus merkitään korjaustarvesuunnitelmaan tutkijan toimesta. Toisaalta käyttöikää ei tunnuttu pidettävän kovin merkittävänä tekijänä toimenpiteistä päätettäessä, koska "kevyillä toimilla ei yleensä saavuteta hyvää lopputulosta." Käyttöiän rajallisuudella ei myöskään arvioitu olevan suurta vaikutusta kustannusten arvioimiseen.

Yritysten vastausten perusteella tiivyyden pysyvyydelle määritetään seurantaohjelma ja lisäksi työselostuksen taustaosiossa kerrotaan tavoiteltu käyttöikä tiivistyksille kuten muillekin toimenpiteille. Vastauksissa tuotiin myös esille, että yleinen oletama tiivistysten rajallisesta käyttöiästä perustuu tutkimuksiin vauriokohteissa, eikä onnistuneita tiivistyskorjauksia (kuten radontiivistykset) ole huomioitu. Arvioitiin, että huolellisesti toteutettuna tiivistyskorjausten käyttöikä on pitkä, mutta huolimattomasti toteutettuna se jää lyhyeksi. Toisaalta vauriokohteiden tutkimukset ovat osoittaneet epätietoisuutta / puutteellisuutta asentamisessa ja valvonnassa. Asentajien kouluttamisella (esim. käytönopastus kohteessa tai materiaalivalmistajan järjestämä kurssi) ja rakenteiden tiivistäjien sertifiointikoulutuksella ollaan merkittävästi parantamassa onnistumista. Suunnitelmiin onkin jo osattu määritellä edellä mainittuja osaamisvaatimuksia. Käyttöiän kustannusvaikutuksia arvioitaessa pitkällä aikavälillä voi halvempi ensisuoritus edellyttää enemmän panostusta myöhemmin ja toisin päin. Kustannukset arvioidaan aina pitkällä aikavälillä. Teknisen käyttöiän rajaamisella arvioitiin olevan vaikutusta myös rakennusten purkupäätöksiin.

Elinkaariallysi

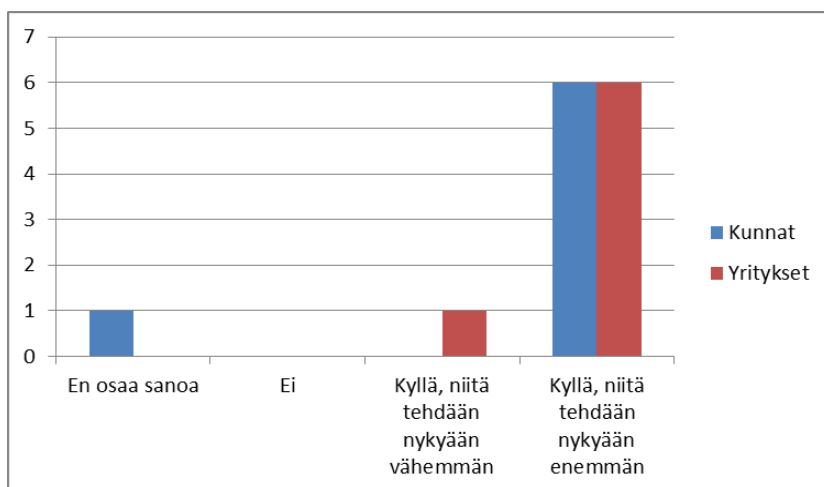
Kahdessa kunnassa kohteille tehdään elinkaarikustannusanalyysi ja kolmessa ei. Yrityksistä kuusi valitsi vaihtoehdon "en osaa sanoa" (kuva 5).



Kuva 5. Tehdäänkö kohteille elinkaarikustannusanalyysi

Tiivistyskorjausten määrissä tapahtuneet muutokset

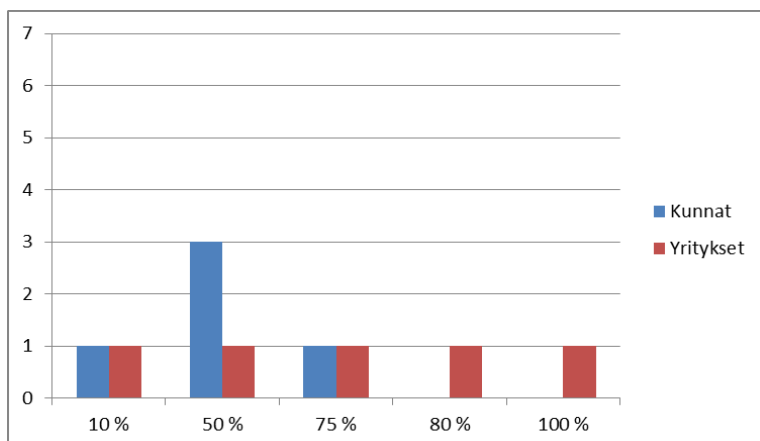
Pääosa kunnista ja yrityksistä vastasi, että tiivistyskorjauksia tehdään nykyään entistä enemmän. Lisätietoina yritys vastaajat toivat esille, että nykyään pääsääntöisesti kaikissa kohteissa kiinnitetään huomiota rakennusten tiiveyteen ja että radonmittaukset ja merkkiainekokeet ovat lisääntyneet. Kokonaisvaltaisia tiivistyskorjauksia on alettu suunnittelemaan vasta 2000-luvun alussa, jonka jälkeen tieto on levinnyt ja toimintatavat kehittyneet. Nykykäsityksen mukaan ilmavuotokohtien tiivistäminen tehdään (tai ainakin pitäisi tehdä) kaikissa korjauskohteissa ja myös uudiskohteissa. Haasteena pidettiin perustelematonta kielteistä suhtautumista tiivistyksille.



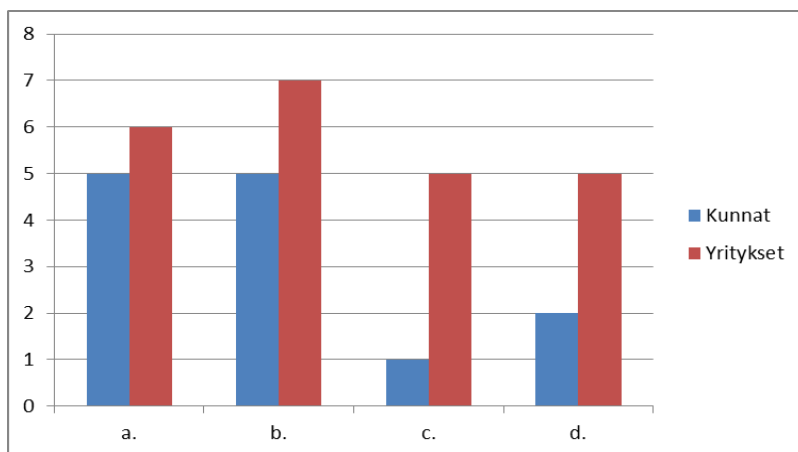
Kuva 6. Onko tehtävien tiivistämiskorjausten määrässä tapahtunut muutoksia vuosien myötä

Tiivistämiskorjausten suhde muuhun korjaamiseen

Vastaukset kysymykseen tiivistämiskorjausten yleisyydestä suhteessa kaikkien vaurio- tai riskirakenteiden täydelliseen uusimiseen hajaantuivat suuresti sekä kuntien että yritysten kesken, kuten kuvasta 7 on nähtävissä. Kunnissa tiivistämisiä tehdään pääasiassa uusimisen lisäksi täydentävänä toimenpiteenä, kun taas yritykset vastasivat korjauksia tehtävän myös rakenteiden nykyaikaistamiseksi sekä varmuuden vuoksi (kuva 8).



Kuva 7. Tiivistämiskorjausten suhde muuhun korjaamiseen



Kuva 8. Tehdäänkö tiivistämiskorjauksia täydentävänä toimenpiteenä uusimisen lisäksi, rakenteiden nykyaikaistamiseksi vai varmuuden vuoksi (Vaihtoehdot: a. Täydentävänä toimenpiteenä muiden rakennusosien uusimisen lisäksi. Jotkin rakennusosat uusitaan, mutta osa tiivistetään (esim. ulkoseinät ja yläpohja uusitaan kantavia rakenteita lukuun ottamatta, mutta alapohja liitoksineen ”kapseloidaan”); b. Täydentävä toimenpiteenä joidenkin rakennekerrosten uusimisen lisäksi. Jotkin rakennekerrokset uusitaan (esim. eristeet vaihdetaan), mutta sisäilmaongelmien uusiutumisen estäminen edellyttää sisäpintojen ja liitoksien tiiveyttä; c. Rakenteiden nykyaikaistamiseksi (esim. jos moderni ilmanvaihto ja/tai energiatehokkuus edellyttää täysin tiiviitä rakenneliitoksia); vai d. Varmuuden vuoksi. Rakenteita tiivistetään, vaikka tiivistämisellä ei arvella olevan suoraa vaikutusta sisäilman laatuun.)

Tiivistystyön tekijät

Viidessä kunnassa etenkin suuremmat tiivistyskorjaustyöt tilataan muualta. Yhdessä kunnassa on tilaaja/tuottaja-organisaatio, joilla on neljästä kuuteen tiivistyskorjausten tekoon koulutettua työntekijää. Myös yritysten tiivistystöiden tekijät (4-40 henkilöä yrityksestä riippuen) on niin ikään koulutettu. Osa yritys vastaajista kertoi joidenkin kuntien olevan toisia aktiivisempia tilaamaan tiivistystöitä. Osa vastaajista korosti, että harvoin kukaan tilaa pelkästään tiivistyskorjauksia vaan tarkoituksenmukaisia korjauksia, joissa tiivistäminen on vain yksi tapa monista.

Tiivistysmenetelmät ja –aineet sekä toimenpiteet ennen tiivistystä

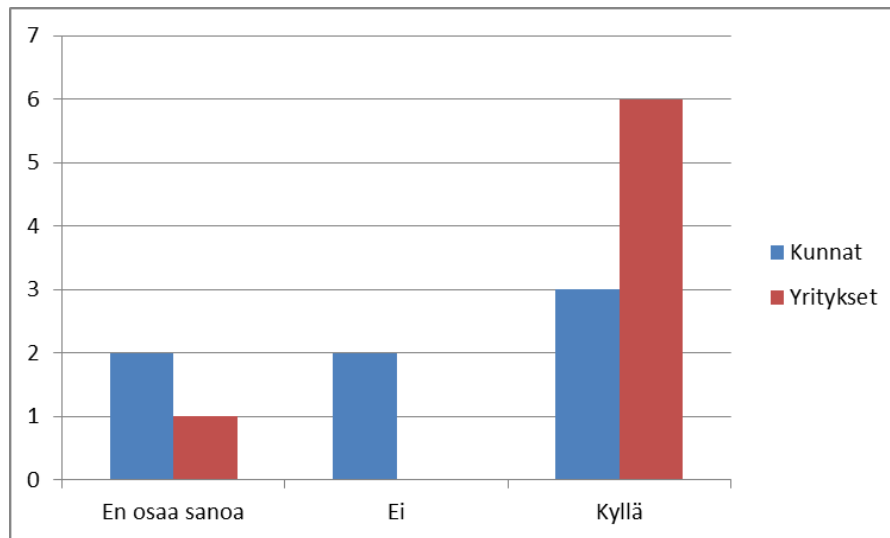
Kunnissa käytettiin mm. seuraavia aineita/metodeja: epoxy, codex nauha (butyyli), vesieriste sekä blower proof –sulkuaine. Yritysten käytössä mainittiin vastaavasti olevan esimerkiksi Ardexin, Bettonin ja TKR:n tuotteita.

Ennen tiivistystöitä tehtäviä toimenpiteitä kerrottiin kunnissa olevan sisäilmastotutkimusten teko, sekä rakenteiden ja ongelmien kartoitus. Yrityspuolella korostettiin avointa keskustelua käyttäjien kanssa, kokonaisuuden huomioimista, kohteiden tutkimista ja hyvää suunnittelua.

Pintojen puhdistukseen käytettävistä menetelmistä mainittiin mm. lattioiden timanttihionta, vanhojen/heikkojen pintojen poisto, mekaaninen puhdistus, pölyjen imurointi ja pintojen pyyhkinen. Kaksi yritystä kommentoi, että kemikaaleja ei tule käyttää, sillä puhdistusainejäämät heikentävät tartuntaa. Lisäksi tuotiin esille että materiaalivalmistajan ohjetta alustan tyypistä ja käsittelystä tulee noudattaa täsmällisesti. *"Kun alustan puhtaus vastaa materiaalivalmistajan ohjetta, tartunta on kaikilla käytettävillä materiaaleilla riittävän hyvä."*

Käyttäjien ohjeistaminen

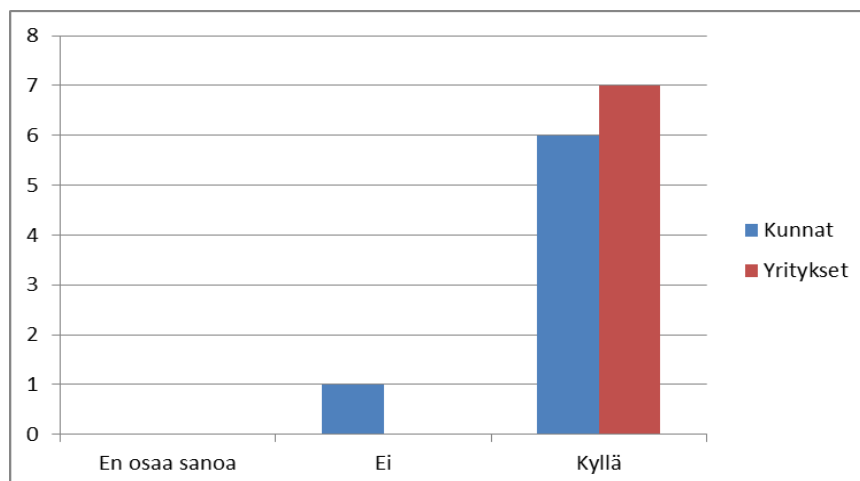
Kolme seitsemästä kunnasta kertoi ohjeistavansa tilojen käyttäjiä tiiveyden säilyttämiseksi (kuva 9). Yrityksillä ohjeistaminen oli yleisempää, sillä kuusi yritystä seitsemästä kertoi ohjeistavansa tilojen käyttäjiä.



Kuva 9. Annettaanko käyttäjille ohjeita tiiveyden säilyttämiseksi

Tiivistämiskorjauksen lopputulos

Tiivistämiskorjauksen halutun lopputuloksen saavuttaminen (esim. haluttu tiiveystaso) varmistetaan yleisesti kunnissa ja yrityksissä (kuva 10). Kunnissa varmistaminen tehdään esimerkiksi (merkkiaine)mittauksilla. Osa yrityksistä käyttää merkkikaasuja tai -savuja. Lisäksi varmistuskeinoina tuotiin esille hyvä suunnittelu, mallityöt, tekijöiden perehdyttäminen sekä motivointi, osaava valvonta ja tarkoituksenmukaiset laadunvarmistustoimenpiteet riittävällä otannalla (aistinvarainen tarkastelu, merkkisavu, merkkiainetekniikka). Kohteiden ollessa monimutkaisia varsinaisia tiiveysmittauksia käytetään vain harvoin.

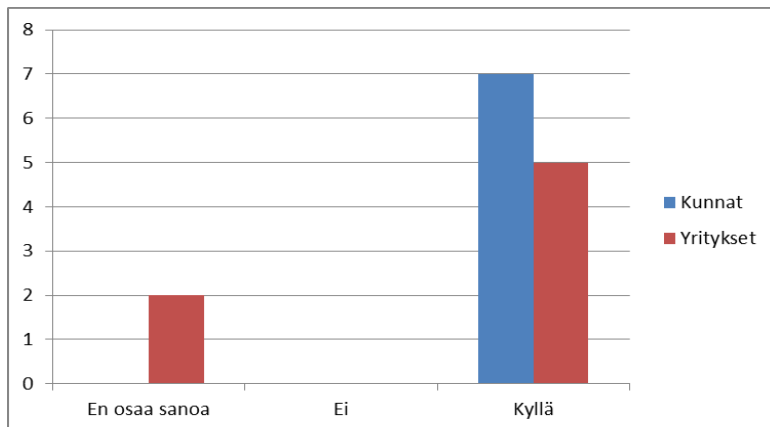


Kuva 10. Varmistetaanko tiivistämiskorjausten halutun lopputuloksen saavuttaminen

Tarkastusten yleisyyteen liittyen kerrottiin kahdessa kunnassa, että tarkistukset tehdään pistokoeluontoisesti, yhdessä tilanteen mukaan ja yhdessä kunnassa tarkastukset pyritään tekemään kaikissa tapauksissa. Yrityspuolella tilanne voi vaihdella, riippuen kohteesta ja tilaajasta.

Käytännöt laatutason tasaisuuden varmistuksesta oli kunnissa vaihtelevat, toimenpiteinä mainittiin valvonta, tiiveyskokeet, sekä työvaiheiden kertaaminen. Yritykset puolestaan tekevät mm. jatkuvaa seurantaa ja raportointia, sekä työmaavalvontaa ja –testejä. Lisäksi mainittiin koulutus ja tietojen päivitys sekä kaikkien tiivistyskaistojen tarkistukset. Muina mahdollisina toimenpiteinä nousi esille hyvä suunnittelu, mallityöt, tekijöiden perehdyttäminen sekä motivointi, tarkoituksenmukaiset laadunvarmistustoimenpiteet riittävällä otannalla (aistinvarainen tarkastelu, merkkisavu, merkkiainetekniikka), toimenpiteiden dokumentointi, sekä työskentelyolosuhteiden kelvollisuuden seuranta.

Kaikki kunnat ja lähes kaikki yritykset ilmoittivat tekevänsä tiivistämiskorjausten onnistumisen seuranta tiivistysten jälkeen (kuva 11). Seuranta tehdään kunnasta riippuen 1–24 kk kuluttua tai tapauskohtaisesti/tarpeen mukaan. Menetelminä mainittiin etenkin käyttäjäkokemukset sekä merkkiainetutkimukset. Yrityksistä kaksi tekee seuranta heti ja kaksi 1–2 vuoden kuluttua. Myös pidempiä, viiden tai jopa 20 vuoden seuranta aikoja toivottiin. Menetelminä mainittiin käyttäjien haastattelut sekä osin myös aistinvaraiset tarkastelut ja tiiveyden tarkistukset.

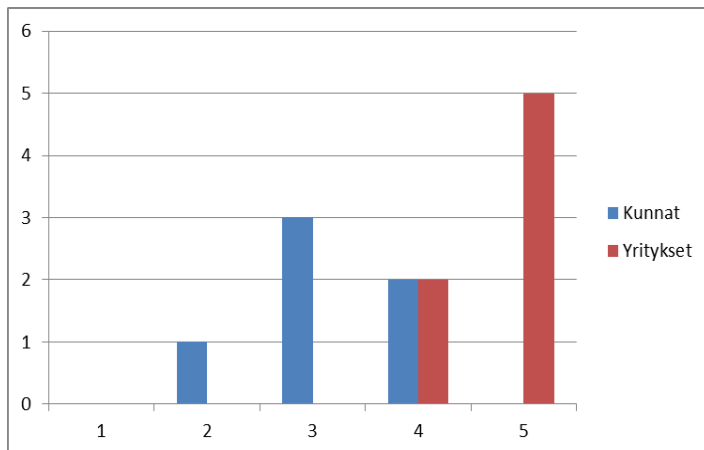


Kuva 11. Seurataanko tiivistämiskorjausten onnistumista tiivistysten jälkeen

Tiivistyskorjausten (epä)onnistuminen

Kaksi kunnista arvioi tiivistyskorjausten epäonnistumisen olevan 10 %:n luokkaa ja yhdessä kunnassa vastaus oli 60 %. Joissakin tapauksissa palautteen arvioitiin olevan huonoa vaikka itse tiivistykset olisivat onnistuneetkin. Yleisimmät syyt epäonnistumisiin olivat huolimattomuus ja pohjatöiden epäonnistuminen.

Yrityksistä kaksi vastasi, että epäonnistumia ei ole, yksi ei osannut arvioida ja yhden arvion mukaan tiivistyksistä epäonnistuu yli 50 %. Valvonnan ja laadunvarmistuksen arvioitiin parantavan tilannetta, kun taas huonosti suunniteltu korjaus johtaa useammin epäonnistumiseen. Syiksi mainittiin suunnittelun tai ammatitaidon puute, kokonaisuuden ymmärtämättömyys, väärät tiivistystavat tai toimimattomat materiaalit sekä valvonnan puute. Asteikolla 1–5 yritykset olivat varmempia onnistumisesta kuntiin verrattuna (kuva 12).



Kuva 12. Kuinka varmana pidätte tiivistyskorjausten onnistumista asteikolla 1–5? (1= erittäin epävarmaa, 5 = erittäin varmaa)

Uudisrakentaminen

Kolme kuntaa oli sitä mieltä, että tiivistyskorjauksiin liittyviä tai niitä vastaavia toimenpiteitä ja menetelmiä ei juurikaan hyödynnetä uudisrakentamisessa. Vastaavasti kolme yritystä seitsemästä oli sitä mieltä, että hyödynnetään, mutta *”enemmänkin pitäisi”*.

Muut kommentit aiheeseen liittyen

Kunnille ja yrityksille oli myös mahdollisuus antaa vapaita kommentteja tiivistyskorjauksiin liittyen. Kuntien kommenteissa tuotiin esille, että rakennusten korjauksia pitäisi ajatella kokonaisuutena, eikä keskittyä liikaa yhteen asiaan. Toisaalta tiivistyskorjauksia pitäisi tehdä enemmän varmuuden vuoksi samalla, kun muitakin korjauksia tehdään. Erityisesti vanhemmissa, ennen 2010 tehdyissä rakennuksissa pitäisi tiiveysasiat huomioida samalla. Tiivistyskorjausten teettäminen ”urakalla” ei onnistu, sillä se vaatii erityisosaamista.

Yritysten kommenteissa korostettiin, että onnistunut lopputulos (niin tiivistys kuin muissakin korjauksissa) saavutetaan, kun on hyvä suunnitelma, valvonta, oikeat materiaalit sekä koulutettu asentaja oikealla asenteella. Hyvän sisäilman laadun saavuttamiseksi tarvitaan kokonaisvaltaista arviointia ja toimenpiteitä (ml. ilmanvaihto, siivous). Pelkästään tiivistämisellä ei saavuteta hyvää lopputulosta vaan tarvitaan eri ratkaisujen yhdistelmiä.

Myös kyselyä kritisoitiin epämääräisyydestä ja vastakkainasettelusta. ”Asia ei milloinkaan ole noin mustavalkoinen: tiivistyskorjaus vai ei.” ”Ymmärtäen ja hyvin tehty tiivistys on ilman muuta oikea tapa hyvin moniin paikkoihin.” ”Koittakaa tuloksia analysoimalla saada suuntaa järkevään ja tarkoituksenmukaiseen toimintaan.”



TERVEYDEN JA
HYVINVOINNIN LAITOS



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO



Kuntaliitto
Kommunförbundet

VALTIONEUVOSTON
SELVITYS- JA TUTKIMUSTOIMINTA

tietokayttoon.fi

ISSN 2342-6799 (pdf)
ISBN 978-952-287-411-5 (pdf)